

МЕЖВИДОВОЙ ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ  
И БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВОЙСК  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ  
(УЧЕБНЫЙ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ)

V ВСЕРОССИЙСКАЯ  
ВОЕННО-ИСТОРИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ВОЙСКА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ  
БОРЬБЫ. ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»



2026



Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2026

УДК 623.62  
ББК 68.517.1  
В61

**ОРГАНИЗАТОР ДЕЛОВОЙ ПРОГРАММЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный) (г. Тамбов)

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИТЕТА**

Начальник войск радиоэлектронной борьбы ВС РФ  
ЛАСТОЧКИН Юрий Илларионович

**ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ КОМИТЕТА**

Председатель военно-научного комитета войск РЭБ ВС РФ, к.т.н.  
ШИРОКОВ Денис Владимирович  
Ректор Тамбовского государственного технического университета, д.т.н., профессор, действительный член РАЕН,  
профессор РАН, почетный работник ВПО РФ  
КРАСНЯНСКИЙ Михаил Николаевич  
Начальник МЦП и БП войск РЭБ, к.т.н., доцент  
ГУБСКОВ Юрий Анатольевич

**ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА**

Профессор «ТГТУ», Почетный радист РФ, Действительный член РАЕН, д.т.н., профессор  
АЛЕКСЕЕВ Владимир Витальевич

Преподаватель цикла боевой подготовки МЦП и БП войск РЭБ, Действительный член АИН РФ им. А. М. Прохорова,  
Действительный член РАЕН, д.т.н., профессор  
ГРОМОВ Юрий Юрьевич

Преподаватель цикла боевой подготовки МЦП и БП, Заслуженный работник высшей школы РФ, руководитель  
научной школы № 525 МО РФ, Действительный член РАЕН, д.т.н., профессор  
ЗАЙЦЕВ Александр Владимирович

И.о. директора института автоматики и информационных технологий «ТГТУ», к.т.н., доцент,  
ПОЛЯКОВ Дмитрий Вадимович

Преподаватель цикла боевой подготовки МЦП и БП, к.в.н.  
САВКИН Евгений Иванович

Заслуженный работник культуры РФ, Президент и генеральный директор Международного Информационного  
Нобелевского Центра  
Действительный член РАЕН, д.т.н., профессор  
ТЮТЮННИК Вячеслав Михайлович

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ**

Преподаватель цикла боевой подготовки МЦП и БП, к.т.н.  
ФУФАЕВ Сергей Александрович

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

Заместитель начальника центра по военно-политической работе  
ИЛЬИЧЁВ Николай Сергеевич,

Командир взвода роты (научной) – м.н.с.  
ГУСЕВ Александр Александрович

**СЕКРЕТАРЬ ОРГКОМИТЕТА**

Помощник начальника центра по испытательной работе  
РАКИТИН Антон Андреевич  
89304707477

## EDITORIAL TEAM

Lastochkin Yu. I. – chairman of the program committee, chief of the Electronic Warfare Forces of the Russian Armed Forces

Shirokov D. V. – Deputy Chairman of the Committee, Chairman of the Military Scientific Committee of the Electronic Warfare Forces, Ph.D.

Krasnyansky M. N. – rector of TSTU, dr. tech. sciences, prof., actual member RANS, prof. RAS, honorary worker of the Higher Professional Education of Russia

Gubskov Yu. A. – deputy chairman of the committee, head of the Specific Training and Combat Use Center Electronic Warfare Troops (training and testing), cand. of tech. sciences, assoc. prof.

Alekseev V. V. – professor of TSTU, honorary radio operator of the Russian Federation, full member of the RANS, dr. tech. sciences, prof.

Gromov Yu. Yu. – Instructor of the combat training cycle for the MCP and BP of the electronic warfare troops, Full Member of the A. M. Prokhorov Academy of Information Sciences of the Russian Federation, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor

Zaitsev A. V. – teacher of the center combat training cycle, honored worker of the Higher School of the Russian Federation, head of the scientific school No. 525 of the Ministry of Defense of Russia, dr. tech. sciences, prof., full member of the RANS

Polyakov D. V. – Acting Director of the Institute of Automation and Information Technologies "TSTU"

Savkin E. I. – teacher of the center combat training cycle, cand. of mil. sciences

Tyutyunnik V. M. – honored worker of culture of the Russian Federation, president and CEO of the International Nobel Information Center, dr. tech. sciences, prof., full member of the RANS

**В61      Войска радиоэлектронной борьбы. История, состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] : сборник научных статей V Всероссийской военно-исторической конференции. Тамбов, 9 апреля 2026 г. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2026. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium IV ; RAM 512 Mb ; необходимое место на HD 7,0 Mb ; Windows 7/8/10/11 ; дисковод CD-ROM ; мышь. – Загл. с экрана.**

ISBN 978-5-8265-3042-9

Включены материалы секционных докладов, вошедших в программу V Всероссийской военно-исторической конференции «Войска радиоэлектронной борьбы. История, состояние и перспективы развития».

Конференция организована и проведена при информационной поддержке Тамбовского отделения РАЕН.

Материалы могут быть интересны специалистам в области управления сложными организационно-техническими системами и комплексами. Результаты могут быть полезны аспирантам, адъюнктам, студентам технических учебных заведений, специализирующимся в области радиоэлектроники и систем управления динамическими объектами.

УДК 623.62

ББК 68.517.1

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

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

**ISBN 978-5-8265-3042-9**

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2026

## ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

**Начальника Межвидового центра подготовки и боевого применения войск РЭБ  
(учебный и испытательный)  
полковника Губскова Юрия Анатольевича**



Знание истории всегда обеспечивает выявление закономерностей и взаимосвязей событий и прогнозирование направления развития общества, отраслей экономики, развития вооруженных сил и войск РЭБ, в частности. Поэтому считаю важным:

- проведение научной дискуссии для обобщения и анализа исторического опыта создания и применения частей РЭБ;
- обсуждение современных взглядов на роль и место войск РЭБ в укреплении обороноспособности страны;
- объединение ученых и специалистов смежных отраслей науки, занимающихся изучением и популяризацией знаний об истории войск РЭБ, обмен опытом и придание нового импульса развитию военно-

исторических исследований;

- установление долгосрочных партнерских отношений между органами военного управления, вузами и НИО МО РФ, организациями промышленности;
- совершенствование содержания, форм и методов военно-исторических исследований.

По результатам конференции предлагаю разработать:

- рекомендации по дальнейшему развитию научной работы в области истории войск радиоэлектронной борьбы, с привлечением Института военной истории и активизацией работы в Центральном архиве МО РФ;
- предложения по планированию и проведению последующих Всероссийских военно-исторических конференций;
- рекомендации по внесению изменений в учебный процесс с учетом материалов докладов конференции;
- предложения по включению материалов докладов в сборник статей по итогам научно-практических конференций МО РФ.

Уверен, что сегодняшняя конференция даст импульс новым направлениям развития войск РЭБ, новое развитие на основе тесного научно-технического сотрудничества с ФГБОУ ВО «ГГТУ», вузами и организациями министерств науки и высшего образования, Министерства Обороны Российской Федерации.

Начальник Межвидового центра подготовки  
и боевого применения войск РЭБ  
кандидат технических наук, доцент  
полковник

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'Ю. Губков'.

Ю. Губков

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Секция 1. Направления развития средств подготовки специалистов войск РЭБ .....</b>                                                                                                | <b>8</b>  |
| <i>Ю. А. Губсков, Е. И. Савкин</i>                                                                                                                                                   |           |
| Особенности разработки тренажеров для подготовки специалистов РЭБ ...                                                                                                                | 8         |
| <i>В. В. Алексеев, Ю. А. Губсков, С. Г. Котов, А. В. Мальков</i>                                                                                                                     |           |
| Использование тренажерных комплексов при обучении специалистов войск радиоэлектронной борьбы .....                                                                                   | 27        |
| <i>М. А. Дудин, А. Д. Обухов</i>                                                                                                                                                     |           |
| Архитектура и программно-методическое обеспечение интеллектуального тренажерного комплекса для подготовки и реабилитации специалистов войск РЭБ на базе иммерсивных технологий ..... | 38        |
| <i>Ю. В. Никитников, М. А. Шильцын, В. С. Круглов</i>                                                                                                                                |           |
| Оценка когнитивной нагрузки и стрессоустойчивости операторов РЭБ на основе анализа ЭЭГ и ЭКГ в виртуальной среде .....                                                               | 44        |
| <i>В. В. Алексеев, И. В. Климкин, Г. А. Лахно, Р. М. Баширов</i>                                                                                                                     |           |
| Методика оценки эффективности учебно-тренировочных средств специалистов радиоэлектронной борьбы на основе системного анализа ...                                                     | 49        |
| <i>М. Д. Дмитриев</i>                                                                                                                                                                |           |
| Модуль рекомендаций системы «Образ оптимального специалиста» .....                                                                                                                   | 60        |
| <i>В. В. Попов, Д. А. Порфирьев</i>                                                                                                                                                  |           |
| Эффективность учебных видеофильмов в подготовке военнослужащих войск РЭБ .....                                                                                                       | 67        |
| <i>М. Д. Дмитриев</i>                                                                                                                                                                |           |
| Модуль тестирования системы «Образ оптимального специалиста» .....                                                                                                                   | 77        |
| <i>Т. У. Умиров, М. А. Фомин</i>                                                                                                                                                     |           |
| Особенности разработки гражданских мобильных комплексов для электромагнитного подавления беспилотных авиационных систем ....                                                         | 82        |
| <b>Секция 2. Исторические уроки становления и развития войск РЭБ ...</b>                                                                                                             | <b>89</b> |
| <i>А. В. Зайцев, А. А. Ракитин, Н. П. Гулин, Я. О. Садовов</i>                                                                                                                       |           |
| Эволюция и современное состояние войск радиоэлектронной борьбы России: история, техника и перспективы развития .....                                                                 | 89        |
| <i>Г. В. Горбачев</i>                                                                                                                                                                |           |
| Частная теория радиоэлектронной борьбы на современном этапе развития военной науки .....                                                                                             | 97        |
| <i>А. Д. Родионов</i>                                                                                                                                                                |           |
| От глушения радиоприемников до подавления спутников: эволюция российских войск РЭБ в XXI веке .....                                                                                  | 106       |

*Д. А. Лезин, А. Р. Дронов*

Зарождение войск РЭБ в России: от «Забивки» радиостанций  
до рода войск ..... 111

*И. М. Шевчук, Е. А. Раздобудько*

Ретроспективный взгляд на развитие техники радиоэлектронной  
борьбы ..... 119

**Секция 3. Направления развития средств РЭБ и способы  
противоборства ..... 135**

*А. Ю. Бердников, С. Н. Куканков*

Беспилотные летательные аппараты с возможностью генерации  
электроэнергии в полете ..... 135

*А. В. Филиппов, С. Н. Куканков*

Энергетический комплекс для районов со сложными климатическими  
условиями местности ..... 142

*А. М. Лавренов, С. Н. Куканков*

Энергообеспечение средств наблюдения на морском театре ..... 150

*А. А. Драченин, С. Н. Куканков*

Беспилотные авиационные системы с возможностью пополнения  
электроэнергии ..... 157

*Д. А. Траценков, С. Н. Куканков*

Мониторинг протяженных территорий аэростатными системами ..... 165

*А. А. Драченин, С. Н. Куканков*

Применение беспилотных авиационных систем с морских судов ..... 172

*А. Ю. Васильев, С. Н. Куканков*

Применение беспилотных летательных аппаратов с кораблей ВМФ и  
ограниченных площадок ..... 179

*Д. А. Траценков, С. Н. Куканков*

Многоцелевой комбинированный беспилотный летательный аппарат ..... 185

*С. Н. Куканков, А. А. Мухин*

Вопросы обеспечения устойчивой УКВ радиосвязи в горной  
местности с использованием БПЛА ..... 193

*А. М. Гулак, М. А. Верецагин, Р. М. Баширов*

SDR как универсальное решение для ведения радиоразведки ..... 198

*С. К. Казьмин, О. А. Белоусов*

Контроль электрофизических параметров метаматериалов  
на металлической подложке ..... 202

*В. В. Каиштанов, М. С. Коротков*

Анализ способов противодействия различным беспилотным  
летательным аппаратам с помощью современных систем  
радиоэлектронной борьбы ..... 204

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>А. В. Зайцев, А. А. Гусев, В. В. Соболев, Н. М. Орехов</i>                                                                                            |     |
| Методика проверки согласования аппаратно-программных средств АСУ<br>на основе анализа частотных характеристик КСВН .....                                 | 210 |
| <i>А. В. Зайцев, А. А. Гусев, В. В. Соболев, Н. М. Орехов</i>                                                                                            |     |
| Подход к поиску неисправностей современных систем и комплексов<br>радиоэлектронной борьбы .....                                                          | 215 |
| <i>И. С. Степанов, Е. Д. Суденков, Г. А. Глебов</i>                                                                                                      |     |
| Нейросетевая модель автономного управления робототехническим<br>комплексов в условиях потери навигационных сигналов .....                                | 223 |
| <i>К. И. Тулунов, Е. Д. Суденков, В. В. Мешков</i>                                                                                                       |     |
| Автоматизированный измерительный комплекс параметров<br>и характеристик приемо-передающих антенн .....                                                   | 228 |
| <i>Г. А. Глебов, Н. Ю. Поповичев, В. В. Мешков</i>                                                                                                       |     |
| Реализация цифровой обработки сигнала на ПЛИС для обнаружения<br>повторяющихся последовательностей .....                                                 | 236 |
| <i>И. П. Медведев, С. К. Казьмин</i>                                                                                                                     |     |
| Разработка метода распознавания прогнозирования поведения<br>и траектории беспилотных авиационных систем на основе рекуррентных<br>нейронных сетей ..... | 241 |
| <i>С. В. Канушкин, А. Е. Мелентьев, А. И. Кононов</i>                                                                                                    |     |
| Алгоритм повышенной устойчивости к аддитивным возмущениям<br>в условиях помех .....                                                                      | 246 |
| <i>С. В. Канушкин, И. О. Керин, И. И. Мишин</i>                                                                                                          |     |
| Устойчивость движения динамического объекта с нелинейным<br>алгоритмом в виде степенной функции с дробным показателем степени ...                        | 254 |
| <i>М. А. Фомин, Т. У. Умиров, И. П. Медведев</i>                                                                                                         |     |
| Нейросетевая идентификация БПЛА гражданского назначения.<br>Анализ и особенности .....                                                                   | 262 |
| <i>А. А. Комиссаров</i>                                                                                                                                  |     |
| Оптимизация расположения фильтров В мультиспектральной камере .....                                                                                      | 270 |

## **Секция 1**

# **НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВОЙСК РЭБ**

---

УДК 621.396.6

**Ю. А. Губсков, Е. И. Савкин**

(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ РЭБ**

*Аннотация.* Проведен анализ использования тренажеров для подготовки специалистов РЭБ. Показаны направления разработки перспективных тренажеров РЭБ на основе передовых информационных технологий.

*Ключевые слова:* тренажер, интегрированный тренажерно-обучающий комплекс, интеллектуальная обучающая система, виртуальный интеллектуальный тренажерно-обучающий комплекс.

**Yu. A. Gubskov, E. I. Savkin**

(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **FEATURES OF SIMULATOR DEVELOPMENT TO TRAIN AN EW SPECIALIST**

*Abstract.* An analysis of the use of simulators for the training of electronic warfare specialists has been carried out. The directions of development of promising electronic warfare simulators based on advanced information technologies are shown.

*Keywords:* simulator, integrated training complex, intelligent training system, virtual intelligent training complex.

**Особенности разработки и опыт использования тренажеров для подготовки специалистов РЭБ.** Сегодня радиоэлектронная борьба (РЭБ) – сложнейшее направление противоборства в мирное время и в период вооруженных конфликтов различного масштаба. В связи с этим в войсках РЭБ встает проблема качественной подготовки боевых расчетов средств и комплексов РЭБ.

Актуальность разработки тренажерной техники при подготовке специалистов радиоэлектронной борьбы обусловлена рядом факторов:

- сложным информационно-техническим обликом существующих образцов техники РЭБ (рис. 1);
- необходимостью интенсификации боевой подготовки вследствие ограниченного временного ресурса на овладение высокоинтеллектуальной военно-учетной специальностью;
- ограниченным рабочим пространством внутри аппаратных изделий и соответственно, возможностью одновременного обучения на средствах РЭБ крайне ограниченного количества обучаемых (рис. 2);
- отсутствием на штатных средствах РЭБ механизмов оценки деятельности отдельных операторов, должностных лиц подразделений и органов управления РЭБ в целом;
- сокращением ресурса штатной техники, используемой для обучения специалистов РЭБ.



**Рис. 1. Внешний вид и органы управления блоков автоматизированной станции помех (слева – техники старого парка, справа – современных модернизированных средств РЭБ)**

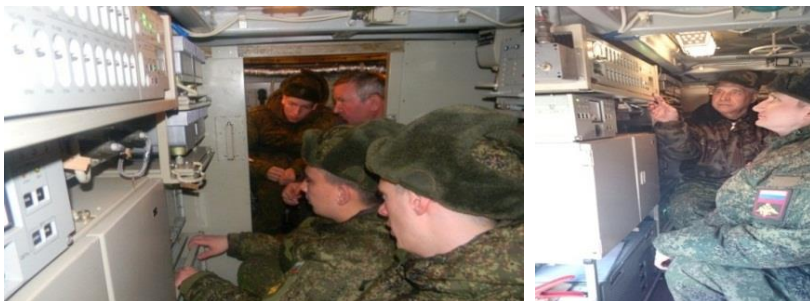


**Рис. 2. Занятия на штатных средствах РЭБ**

Опыт, накопленный в Межвидовом центре подготовки и боевого применения войск РЭБ (учебном и испытательном) показывает, что использование тренажеров и автоматизированных обучающих систем (АОС) значительно помогает обучению специалистов практической работе и применению штатной техники. При этом отмечается ряд факторов, снижающих качество подготовки специалистов РЭБ. К ним относятся следующие:

- на уровень подготовки специалистов РЭБ негативно влияет нехватка учебной и учебно-стационарной техники, тренажерных средств необходимых для обучения большого количества специалистов;
- существующая тренажерная база отстает от разработки и модернизации существующих средств и комплексов РЭБ, ее техническая и программная реализация не всегда соответствует возможностям и параметрам, определенным программами подготовки;
- в войсках РЭБ имеется ограниченное количество тренажеров промышленного изготовления для подготовки специалистов средств РЭБ. (например, компьютерный тренажер «Магний РЭБ»);
- существующие тренажеры не воспроизводят такие же условия работы, какие имеют место на реальных средствах РЭБ.

В ходе учебного процесса применяется ряд компьютерных тренажеров (КТ), автоматизированных обучающих систем (АОС) и виртуальных моделей средств РЭБ, разработанных офицерами в инициативном порядке.

В первую очередь необходимо определиться с теми *требованиями*, которым должны соответствовать современные тренажерные комплексы. Среди таких требований могут быть следующие:

- тренажеры РЭБ должны соответствовать реальным серийным образцам техники и прежде всего в плане используемого программного обеспечения, так как система управления современных средств РЭБ строится на базе компьютерных автоматизированных рабочих мест (АРМ);

- тренажеры должны создавать такие же условия работы оператора, как в реальных условиях.

Тренажеры РЭБ должны обеспечивать:

- использование их отдельно от штатных образцов техники;
- возможность подготовки различных категорий специалистов РЭБ;

- подготовку номеров расчета (операторов) для нескольких образцов средств РЭБ одинакового назначения;

- совместную подготовку расчетов в полном объеме их функциональных обязанностей и взаимодействие, как между собой, так и с другими группами операторов, функционально связанных в процессе выполнения одной задачи;

- одновременную и совместную подготовку нескольких групп операторов, что позволит более эффективно использовать учебное время.

Функционирование по заранее определенным руководителем занятия сценариям с необходимым комплексом обучающих программ со следующими компонентами:

- самостоятельные обучающие программы;
- обучающие программы под руководством преподавателя;
- программы изучения технических средств, принципов их работы, правил эксплуатации;

- программы задания исходных данных на тренировку (редакторы данных) (количество и содержание данных программ может определяться составом обучаемых специалистов);

- возможность изменения сценария руководителем непосредственно в ходе проведения занятия, что позволит моделировать различные ситуации и, соответственно, прививать навыки умения обучаемым по различным действиям, в том числе и при возникновении нестандартных ситуаций;

- возможность дистанционного управления процессом обучения с индивидуализацией выдаваемых обучаемым заданий в зависимости от уровня подготовки и этапа обучения;

- возможность проведения «входного» контроля перед началом занятий, а также функцию автоматического оценивания действий обучаемых в ходе проведения занятий;

- управление проведением тренировки преподавателем, обеспечивающее выдачу соответствующих заданий, регистрацию обучаемых, контроль их действий, изменения условий тренировки (остановка, возврат, ускорение, замедление);

- наличие в своем составе подсистемы накопления результатов обучения с возможностью выполнения различных аналитических срезов для проведения разбора занятий и оценки степени обучаемости специалистов.

Формирование различных по характеру навыков:

- умственных, обеспечивающих решение тактико-специальных и технических задач;

- сенсорных, обеспечивающих наблюдение за показаниями приборов, определение различных характеристик визуально или на слух;

- двигательных, обеспечивающих выполнение различных действий на средствах РЭБ.

Выделим умения и навыки, формирование которых проблематично при традиционных подходах без специально созданной тренажерной базы:

- умения и навыки совместной деятельности операторов пунктов управлений и станций помех в объеме функциональных обязанностей на средствах и комплексах РЭБ в сложной сигнально-помеховой обстановке;

- умения и навыки боевого применения средств РЭБ в условиях динамичного изменения оперативно-тактической и радиоэлектронной обстановки и в условиях различных театров военных действий;

- умения и навыки действий специалистов РЭБ во внештатных ситуациях.

Разрабатываемые тренажеры также должны обеспечивать в процессе эксплуатации следующие возможности:

- качественное выполнение максимального количества задач, решаемых конкретным специалистом РЭБ на данном средстве (комплексе) РЭБ, согласно функциональных обязанностей и требованиям программ подготовки;
- доступность освоения обучаемыми реализованных в тренажере функций и задач;
- возможность модернизации и, при необходимости, изменения функциональных возможностей;
- ремонтпригодность, простота в обслуживании тренажеров, в том числе использование комплектующих отечественного производства при их изготовлении.

Проведем анализ соответствия вышеназванным требованиям эксплуатируемых в центре РЭБ тренажеров. Для анализа выбраны тренажеры для подготовки специалистов комплексного технического контроля (КТК), специалистов средств РЭБ с воздушными (РЭБ-С) и наземными (РЭБ-Н) системами управления войсками и оружием.

Учебно-тренировочный комплекс УТК-2 предназначен для подготовки операторов мобильного комплекса комплексного технического контроля «Дзюдоист» (рис. 3). Представляет собой размещенный в учебной аудитории усеченный вариант реального образца без аппаратуры спецконтроля, включающий автоматизированное рабочее место радио- и радиотехнического контроля (АРМ-РРТК) и автоматизированное рабочее место технического анализа и обнаружения (АРМ-ТАО), антенно-фидерную систему и систему электропитания.



**Рис. 3. Учебно-тренировочный комплекс УТК-2**

Комплекс не имеет места руководителя занятий, подсистем имитации оперативно-тактической (ОТО) и радиоэлектронной обстановки (РЭО) и накопления результатов обучения.

Комплексный тренажер 1Л910 предназначен для подготовки органов управления и расчетов станций помех комплекса РЭБ-С «АКУП-1».



**Рис. 4. Комплексный тренажер 1Л910**

Он представляет собой систему из персональных компьютеров и рабочих мест пункта управления и станций помех (рис. 4). Позволяет проводить тестирование обучаемых с документированием результатов, проводить обучение в режимах «комплексной работы» (в масштабе комплекса) и «автономном» (в масштабе одной станции помех). Имеет ограниченные возможности по имитации оперативно-тактической и радиоэлектронной обстановки.

Комплексный компьютерный тренажер «Магний РЭБ» предназначен для подготовки боевых расчетов автоматизированных пунктов управления и станций помех из состава комплекса РЭБ-Н «Борисоглебск-2» (рис. 5).



**Рис. 5. Комплексный компьютерный тренажер «Магний РЭБ»**

Представляет собой полноценную автоматизированную обучающую систему на базе компьютеров, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС). Применение мощной базы данных обеспечивает значительные возможности по имитации оперативно-тактической и радиоэлектронной обстановки с привязкой к картам местности, оценке и документированию результатов обучения.

Из недостатков КТК «Магний РЭБ» можно отметить:

- специальное программное обеспечение (СПО) тренажера морально устарело и не соответствует современному состоянию реальных средств РЭБ;
- несоответствие количества имитируемых средств РЭБ штатной численности комплекса РЭБ;
- сложность переконфигурации состава комплекса руководителем занятий;
- при имитации радиоэлектронной обстановки в тренажере не предусматривается целый ряд условий, имеющих важное значение при применении средств РЭБ (особенности различных театров военных действий, климатических зон и пр.);
- изменение радиоэлектронной обстановки требует наличия у должностных лиц боевого расчета, навыков программирования;
- тренажер не позволяет в полном объеме формировать умения и навыки боевой работы, предусмотренные программой подготовки специалистов РЭБ и соответственно выполнить нормативы и учебные задачи, предусмотренные Сборником нормативов и учебных задач для наземных соединений, воинских частей и подразделений РЭБ ВС РФ;
- неоптимальность реализованной оценки действий обучаемых.

Сравнительный анализ указанных тренажеров и их соответствие вышерассмотренным требованиям (табл. 1), предъявляемым к современным тренажерам показывает, что в наименьшей степени им соответствует УТК-2 и наибольшей «Магний РЭБ».

Несмотря на имеющиеся недостатки, использованные при разработке «Магний РЭБ», принципиальные подходы могут быть применены как основа для модернизации существующих и построения новых тренажеров.

Очередным этапом разработки и совершенствования тренажерной базы в интересах РЭБ ввод в эксплуатацию интегрированного тренажерно-обучающего комплекса «ИТОК» в составе ситуационного центра, командного пункта, тренажерных обучающих модулей (ТОМ), центра сбора, обработки информации и оценки действий обучаемых (рис. 6).

## 1. Соответствие тренажеров предъявляемым требованиям

| Требования \ Тренажеры                                                | УТК-2 | 1Л910 | Магний РЭБ |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|-------|------------|
| Соответствие реальным серийным образцам                               | +     | +     | +          |
| Подготовка различных категорий специалистов РЭБ                       | —     | +     | +          |
| Подготовка для нескольких образцов средств РЭБ                        | —     | +/-   | +          |
| Совместная подготовка функционально связанных расчетов                | —     | +     | +          |
| Одновременная подготовка нескольких групп                             | —     | +     | +          |
| Дистанционное управление процессом обучения                           | —     | —     | +          |
| Использование тренажеров отдельно от штатных образцов                 | +     | +     | +          |
| Обеспечение формирования различных навыков                            | +     | +     | +          |
| Умения и навыки деятельности в сложной сигнально-помеховой обстановке | —     | —     | +          |
| Умения и навыки применения средств РЭБ в различной ОТО                | —     | —     | +          |
| Умения и навыки, формирование которых проблематично без тренажеров    | —     | —     | +          |
| Имитация внештатных ситуаций                                          | —     | —     | —          |



**Рис. 6. Тренажерно-обучающие модули (ТОМ)  
из состава тренажерного обучающего комплекса ИТОК**

- автоматизации подготовки специалистов РЭБ и должностных лиц органов управления РЭБ;
- обучения специалистов РЭБ теоретическим знаниям и практической боевой работе на образцах техники РЭБ (одиночная подготовка);
- подготовки и боевого слаживания экипажей (расчетов), подразделений и органов управления частей РЭБ в едином виртуальном пространстве, имитирующем сценарии операций, боевых действий, оперативную (тактическую) обстановку и соответствующую ей радиоэлектронную обстановку;
- подготовку и тренировку должностных лиц центра, осуществляющих боевую подготовку, и проведения военно-научных исследований вопросов боевого применения войск (сил и средств) РЭБ.

The diagram illustrates the Unified Virtual Space architecture, showing the flow of information between various components:

- Единое виртуальное пространство** (Unified virtual space) - The overall system.
- Информационная база данных** (Information database) - Connected to the Unified virtual space via bidirectional arrows.
- Система ситуационного управления и контроля действий обучаемых** (System for situational management and control of actions of trainees) - Contains two sub-images:
  - Управление мероприятием боевой подготовки ОВ и сил/силотов РЭБ** (Management of combat training activities of OV and forces/force units of EW).
  - Проведение компьютерных экспериментов** (Conducting computer experiments).
- Тренажерно-обучающий комплекс подразделений РЭБ** (Simulator-training complex of EW units) - Includes a list of tasks:
  1. Планирование теоретического обучения сил/силотов РЭБ, ЦОУ РЭБ.
  2. Симуляция взаимодействия сил/силотов РЭБ с транспортными средствами системы РЭБ.
  3. Подготовка атакующих команд (присоединение к подразделениям на территории действия системы РЭБ, обучение в системе, боевые тренировки, ЦОУ РЭБ).
- Программная система информационного сопряжения** (Software system for information interfacing) - Connected to the System for situational management and control of actions of trainees via bidirectional arrows.
- Программная система информационного сопряжения** (Software system for information interfacing) - Connected to the Simulator-training complex of EW units via bidirectional arrows.
- Программная система аналитического и имитационного моделирования** (Software system for analytical and simulation modeling) - Connected to both software systems for information interfacing via bidirectional arrows.

17

**Направления разработки тренажеров для подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы.** Создание тренажеров – затратное мероприятие и дорогостоящие тренажеры целесообразно размещать для обучения в учебных центрах. Однако, целесообразно рассмотреть более упрощенный вариант тренажера для поставки его непосредственно в войска. Какие сложности испытывают должностные лица частей и подразделений РЭБ при обучении подчиненных? Это, в первую очередь, создание радиоэлектронной обстановки. Поэтому стоит рассмотреть вопрос создания тренажера имитирующего радиоэлектронную обстановку. Такой тренажер подключается непосредственно к боевой станции, он менее ресурсозатратен и позволяет с более высоким качеством проводить боевую подготовку.

Современные тренажеры не дают ответа на вопрос об эффективности радиоподавления, чаще показывают создана ли радиопомеха. Кроме того, не учитываются особенности распространения электромагнитных волн, в том числе и погодные условия. Показанная информация тоже должна учитываться в современных тренажерах.

Важным условием тренажера является наличие шумового и зрительного восприятия. Практика показывает, что обучаемый, прошедший подготовку на тренажере в условиях, отличающихся от реальных, на боевой станции чаще всего теряется и не способен выполнить действия, изученные на тренажере. Все это показывает необходимость приближения условий работы на тренажере условиям реальной обстановки.

В этом плане одним из перспективных направлений совершенствования тренажеров для подготовки специалистов РЭБ является создание интеллектуальных обучающих систем (ИОС), в частности, в виде виртуального интеллектуального тренажерно-обучающего комплекса (ВИТОК).

Основным назначением ВИТОК является проведение автоматизированной подготовки операторов станций и комплексов РЭБ, экипажей (расчетов) и подразделений на различные образцы техники в едином виртуальном пространстве в режиме реального времени.

В основе функционирования ВИТОК лежат возможности обучающегося полноценно управлять своим аватаром (виртуальным персонажем) в едином виртуальном пространстве (ЕВП); наблюдать

изменения ЕВП (видеть от первого лица и слышать), ощущать физические свойства объектов; взаимодействовать с любым объектом ЕВП (станциями, блоками, предметами интерьера и экстерьера, оружием, объектами окружающего мира) через аватар; взаимодействовать с другими обучающимися в режиме реального времени через аватар и средства связи.

Аватар обучающегося будет с высокой точностью повторять действия оператора в едином виртуальном пространстве, совершаемые им в реальном пространстве (перемещение, изменение положений, прикосновения, приложение усилий и т.д.), тем самым взаимодействуя с объектами ЕВП и другими аватарами. Каждое действие будет влиять на изменение пространства (изменение положения объектов, деформация и т.д.). Сам аватар также будет реагировать на изменения ЕВП. Для виртуального интеллектуального тренажерно-обучающего комплекса специалистами Центра разработан искусственный интеллект (ИИ) в двух вариантах исполнения (ИИ Аватар и ИИ Противник). ИИ Аватар – виртуальный персонаж, имитирующий действия члена экипажа (оператора), осуществляющий взаимодействие с объектами и аватарами самостоятельно. ИИ Противник – виртуальный персонаж (стилизованный аватар), имитирующий действия вероятного противника.

Обучение будет непосредственно происходить в едином виртуальном пространстве, которое можно представить, как совокупность трехмерных объектов, математических моделей и алгоритмов. ЕВП наделена возможностью реагировать на действия обучающегося, посредством взаимодействия с аватаром, на действия ИИ Аватар и ИИ Противник; выполнять цепи событий, предсказанных математическими моделями и алгоритмами (изменение погодных условий, индикация блоков и узлов, циркуляция информации между ними и т.д.) или случайных событий (деформация объектов, изменение радиообстановки, действия обучающихся, ИИ Аватар, ИИ Противник и т.д.); имитировать пространственные данные, ландшафт местности, на которой проходит подготовка, формировать цифровую модель местности; имитировать физические свойства объектов (масса, объем, отражение, текстура, цвет и т.д.), с которыми взаимодействует аватар обучающегося; обеспечивать взаимодействие в режиме реального времени между обучающимися до 64 человек, ИИ Аватар и ИИ Противник.

Так как данная интеллектуальная обучающая система будет принимать участие на всех этапах процесса обучения, а потенциал ее возможностей, малая часть которых изложена выше, крайне велик, то структура ВИТОК состоит из множества различных технических частей и программных модулей, средств передачи информации, мониторинга и контроля.

В комплект технического оснащения модуля входят:

1. Очки трехмерной виртуальной реальности с аудио гарнитурой и акселерометром, которые проецируют изображение высокого разрешения (рис. 8) в 360 градусов на сетчатку глаза обучающегося, позволяющие ему видеть объекты и других членов экипажа, подразделения, с которыми взаимодействует его аватар, обеспечивая погружение в 3D (виртуальную) реальность. Благодаря встроенной акустической гарнитуре, воспроизводящей звуки, при совершении различных манипуляций обучающимся и создающей общие фоновые звуки; такие как точная имитация работы станции или ее отдельных элементов, фон окружающей среды; осуществляется четырехмерное погружение в виртуальную реальность. Встроенный микрофон позволяет общаться с преподавателем и между обучающимися в ходе проведения занятия.



**Рис. 8. Фрагмент трехмерного изображения изучаемой станции, транслируемый на очки обучающегося**

Практическим путем доказано, что визуальные данные (например, интерьер изучаемой станции) на 100% соответствует реальному образцу. При наблюдении трехмерного изображения более 5 минут –

обучающийся не находит отличия от наблюдаемого вживую образца техники. В процессе проведения занятия, с применением очков с гарнитурой, на которые транслировались изображения высокого разрешения и акустическое сопровождение, обучающиеся принимали происходящее вокруг за действительность более чем на 90%.

2. Перчатки с гироскопами и микро вибромодулями позволяют определять положение кистей рук обучающегося в едином виртуальном пространстве (рук аватара); повторяют моторику рук, позволяя контактировать и управлять аватаром, объектами в едином виртуальном пространстве; имитируют тактильные ощущения при помощи микровибрации, позволяя обучающемуся чувствовать физические свойства трехмерных объектов (массу, текстуру, их сопротивление и т.д.); воздействуют на мышцы обучающегося, обеспечивая обратную связь от аватара к обучающемуся; развивают мышечную память обучающегося – память действий, реакций. Браслеты с гироскопами и микросенсорами реагируют на сокращение мышц рук, определяя степень сопротивления объектов (трудность переключения тумблеров, жесткость изменения положения переключателей, скорость вращения регуляторов и т.д.), с которыми взаимодействует обучающийся; определяет положение рук обучающегося в ЕВП; определяет нагрузку на мышцы обучающегося; развивает мышечную память – память действий, оказываемых на объект, и их обратных реакций (противодействий).

3. Платформа для перемещения 360 градусов позволяет обучающемуся перемещаться (ходьба, бег, прыжки и т.д.) в едином виртуальном пространстве и принимать различные положения тела (стоя, сидя и т.д.); обеспечивает безопасность обучающегося, фиксируя его тело гибкими ремнями; разгружает мышцы спины, поясницы и ног, обеспечивая удобство.

4. Ультразвуковые и инфракрасные датчики отслеживают движения тела обучающегося (наклоны, изгибы, повороты корпуса, изменения положений плечевого и локтевого суставов и т.д.); контролируют положение аватара в ЕВП, определяют степень реакции окружающей среды на взаимодействие с ней обучающегося (отражения, тени, метаморфозы окружающих объектов и т.д.); определяют влияние физических явлений на аватар обучающегося и объекты, с которыми происходит взаимодействие.

5. Высокопроизводительный ЭВМ играет роль связующего звена всех вышеперечисленных устройств, обрабатывает потоки данных от обучающегося к объектам, виртуальному окружению и обратно; обеспечивает вычисления, построение ЕВП, подыгрыш, имитацию действий ИИ Аватар и ИИ Противник; обеспечивает слаживание экипажей и подразделений одновременно в одном или нескольких единых виртуальных пространствах.

Обмен данными между программно-аппаратными средствами комплекса, между обучающимися друг с другом и преподавателем в режиме реального времени обеспечивает оптическая локальная вычислительная сеть. Она также обеспечивает взаимодействие нескольких обучающихся друг с другом, экипажей в подразделении в едином виртуальном пространстве в режиме реального времени.

Система будет взаимодействовать с различными устройствами, работающими на разных операционных средах, то есть будет кросс-платформенной.

Возможности ВИТОК по подготовке операторов станций и комплексов, экипажей (расчетов) и подразделений позволяют:

- проводить одиночную или совместную отработку действий в сценариях ситуаций, максимально приближенных к боевой обстановке, подыгрыш и имитацию действий вероятного противника;
- обеспечат автоматизированную подготовку обучающихся в составе экипажа (расчета) и взаимодействие в едином виртуальном пространстве в режиме реального времени (рис. 9);
- одновременная работа двух обучающихся на одной станции.



**Рис. 9. Фрагмент подготовки в составе экипажа (расчета)**

Тонкость настройки ИОС и функциональные возможности позволяют обеспечить мультизадачность в проведении теоретической и практической подготовки; возможность изучения и работы как отдельно с такелажем и АФС, блоками и узлами, так и на станциях (комплексах) в целом; позволять выполнять практические нормативы на местности (выбор позиции, развертывание и т.д.) и внутри станции (подготовка к работе, ведение боевой работы и т.д.). Многозадачность комплекса предоставит возможность проведения подготовки (вплоть до выполнения практических действий и ведения боевой работы) совместно всеми членами экипажа в ЕВМ, несколькими экипажами (до 64 человек) в одном или нескольких ЕВП (рис. 10) в режиме реального времени в различных сценариях обучения.



**Рис. 10. Фрагмент автоматизированной подготовки обучающихся из нескольких экипажей**

Особенностями ВИТОК, оказывающими значимое влияние на качество получаемых знаний и умений обучающимися, являются возможности по детализированной визуализации в едином виртуальном пространстве. Которые обеспечивают динамическое изменение времен год и времени суток; реалистичность природных явлений (снег, дождь, ветер, гроза и т.д.) (рис. 11); комбинированную системы освещения, включающую естественные источники света (астрономические объекты) и искусственные (световые приборы, пламя и т.д.); динами-

ческое изменение ландшафта местности (образование грязи, луж и т.д.); реалистичные физические явления; многоуровневую детализацию трехмерных объектов и достоверность физических процессов.



**Рис. 11. Фрагменты с изменяющимися погодными явлениями:**  
слева – осень, ветреная погода, вечер, ливень, ветер 20 м/с; справа – зима, облачная погода, день, снегопад, ветер 7 м/с

Компактность ВИТОК позволит задействовать для проведения занятий небольшие помещения (один модуль занимает стандартное рабочее офисное место). Представляя собой носимый легко сборный/разборный комплект, он обеспечивает простоту транспортировки и высокую мобильность (рис. 12).



**Рис. 12. Возможности по транспортировке, развертыванию и подготовке к работе комплекта ВИТОК**

Применение методик подготовки специалистов РЭБ, ориентированных на использование перспективных технических средств обучения, таких как ВИТОК, позволяет решать следующие задачи:

- значительное упрощение процесса понимания, изучения учебного материала и получения практических навыков работы;

- повышение качественных и количественных показателей боевой подготовки;
- увеличение пропускной способности;
- формирование уверенных знаний, умений, навыков, профессиональных качеств операторов и развитие мышления;
- проведение автоматизированного интеллектуального теоретического, практического обучения операторов, экипажей (расчетов), подразделений рэб на различные современные и планируемые к выпуску образцы техники на одном комплексе;
- возможность подготовки младших специалистов в едином виртуальном боевом пространстве с должностными лицами органов управления;
- автоматизированное формирование и корректировка курсов обучения операторов и экипажей (расчетов) на основе данных непрерывного контроля в ходе процесса обучения;
- сбор, анализ и обобщение информации о качестве выполнения учебных задач обучающимися в рамках курса боевой подготовки, формирование отчетных документов;
- подготовку операторов и экипажей (расчетов) РЭБ в едином виртуальном боевом пространстве, с возможностью моделирования и имитации действий вероятного противника, в том числе обеспечение подыгрыша в качестве вероятного противника;
- повышение уровня слаженности экипажей;
- контроль уровня знаний военнослужащих, оценка готовности обучающихся к практическим действиям на штатной технике;
- снижение экономических затрат на содержание, обслуживание и ремонт ВВТ и тренажерных средств, уменьшение расходов на электроэнергию и ГСМ и экономию моторесурса изучаемых станций;
- повышение уровня безопасности при проведении практических занятий и качества контроля со стороны руководителей (преподавателей).

Таким образом, при сохранении времени выделенного на выполнение программы боевой подготовки, появится возможность подготовки большего количества квалифицированных специалистов, способных не только знать материальную и техническую части изучаемых средств и комплексов РЭБ и порядок выполнения действий при работе на них, но и способных принимать самостоятельные, взвешенные

решения в непредвиденных ситуациях в ходе выполнения должностных обязанностей.

Реализация рассмотренных подходов, путей создания современных тренажеров и тренажерных комплексов РЭБ позволит постоянно совершенствовать теоретическую подготовку лиц боевых расчетов, а также их практические навыки и умения, что самым положительным образом скажется на уровне профессиональной подготовки личного состава подразделений, частей и органов управления РЭБ.

### ***Список использованных источников***

1. Основы политики РФ в области развития системы РЭБ на период до 2010 года и дальнейшую перспективу – М.: 2002 г. Указ Президента РФ № 8996 от 14.11.2002 г.

2. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 2002 г. № 405 по формированию и проведению единой военно-технической политики по развитию технических средств обучения.

3. Гусаров А.А., Святкин С.А., Коновалов А.В. Актуальные вопросы создания и использования тренажеров для подготовки военных специалистов по радиоэлектронной борьбе. // Тем. сб. «Радиоэлектронная борьба в Вооруженных Силах Российской Федерации». – М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2016. – С. 79-81.

4. Плотников М.Ю., Батурин Ю.О. Актуальные вопросы разработки компьютерного тренажера в интересах повышения уровня профессиональной подготовки специалистов РЭБ. // Тем. сб. «Радиоэлектронная борьба в Вооруженных Силах Российской Федерации». – М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2017. – С. 158–159.

5. Мальков А.В. Информационные технологии будущего для обучения специалистов РЭБ // Тем. сб. «Радиоэлектронная борьба в Вооруженных Силах Российской Федерации». – М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2018. – С. 89-94.

**В. В. Алексеев<sup>1,2</sup>, Ю. А. Губсков<sup>2</sup>, С. Г. Котов<sup>2</sup>, А. В. Мальков<sup>2</sup>**

<sup>(1)</sup>Тамбовский государственный технический университет,

<sup>(2)</sup>Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВОЙСК РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ**

*Аннотация.* Разработанные проблемно-ориентировочные системы, обеспечивающие компьютерное моделирование деятельности оператора не позволяют оценить качество его подготовки на данный момент. В связи с этим важной задачей является разработка методов и алгоритмов для организации алгоритмов принятия решений при управлении состоянием профподготовки оператора.

*Ключевые слова:* оператор, компьютерные тренажеры, алгоритм, анализ систем.

**V. V. Alekseev<sup>1,2</sup>, Yu. A. Gubskov, S. G. Kotov, A. V. Malkov**

<sup>(1)</sup>Tambov State Technical University,

<sup>(2)</sup>Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **THE USE OF TRAINING COMPLEXES IN THE TRAINING OF SPECIALISTS OF THE ELECTRONIC WARFARE FORCES**

*Abstract.* The developed problem-oriented systems that provide computer modeling of the operator's activities do not allow us to assess the quality of his training at the moment. In this regard, an important task is to develop methods and algorithms for organizing decision-making algorithms for managing the state of operator training.

*Keywords:* operator, computer simulators, algorithm, system analysis.

На современном этапе компьютерные тренажеры и современные информационные технологии являются базой для подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы. Однако, существуют трудности при оценке соответствия уровня подготовки специалиста требованиям, предъявляемым организационно-технической системой к субъекту конкретной предметной области. В связи с этим актуальной задачей

является разработка проблемно-ориентированной системы оценки и управления уровнем подготовки с целью выдачи рекомендаций при выполнении задач по предназначению.

В настоящий момент мало эффективных и легко реализуемых информационно-технических средств, обеспечивающих оценку соответствия уровня подготовки оператора организационно-технической системы требованиям, предъявляемым к специалисту, а так же единого подхода к проектированию систем и алгоритмов решения такой задачи, как оценка уровня владения необходимыми знаниями, умениями и навыками, а так же личных качеств, необходимых для выполнения профессиональных задач в конкретной организационно-технической системе.

Разработанные на данный момент проблемно-ориентировочные системы, а также программные пакеты, обеспечивающие компьютерное моделирование деятельности оператора не позволяют оценить качества его подготовки, а также степень соответствия качественных характеристик выпускника и, как следствие, не позволяют управлять или выдавать рекомендации по управлению с целью улучшения уровня подготовки в конкретной области деятельности.

В связи с этим важной является разработка методов и алгоритмов для организации поддержки принятия решений (ППР) при управлении состоянием уровня профессиональной деятельности оператора.

Тогда научная задача может заключаться в разработке математической модели деятельности специалиста-оператора с учетом информационного воздействия на него. Дополнительно предлагается разработка метода поддержки принятия решения при управлении качеством профессиональной деятельности, синтеза алгоритма мониторинга текущего состояния оператора. Для решения этой задачи в качестве инструмента возможно использование самоорганизующихся карт Кохонена.

Для достижения цели были сформулированы и решены частные задачи:

1. Проведен анализ систем поддержки принятия решения при управлении качеством подготовки оператора, а также существующих проектных решений в данной области.

2. Разработана математическая модель деятельности специалиста, а также модели формирования информационного воздействия

на него в рамках организационно-технической системы при управлении качеством ее функционирования.

3. Обоснованы и разработаны методы поддержки принятия решения при управлении качеством динамической модели формирования информационного воздействия на структурный элемент деятельности.

4. Проведен синтез алгоритмов мониторинга текущего состояния и дальнейшего прогнозирования качества деятельности оператора на основе нейронной сети.

5. Проведена апробация разработанных методов и алгоритмов поддержки принятия решения при формировании информационного воздействия на оператора на основе интеллектуальных технологий.

В ходе проведенных исследований решена достаточно сложная задача – оценки и повышения уровня соответствия подготовки оператора деятельности требованиям, предъявляемым к конкретной предметной области. Предложенная модель оператора организационно-технической системы позволяет реализовать комплекс методов и алгоритмов для реализации задач оценки уровня подготовки оператора и выдачи рекомендаций по управлению процессом информационного воздействия на структурный элемент системы, учитывающих степень соответствия его качественных характеристик, что позволяет повысить индивидуализацию качества его функционирования. Это даст возможность применять результаты исследования в учебных заведениях, реализующих свою образовательную деятельность на основании федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС), а также организациях для переподготовки сотрудников, и совершенствования кадровой политики.

Описательная часть модели оператора представлена как набор параметров  $M\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ . Каждый из этих параметров задается произвольным арифметическим или логическим выражением, которое может включать операции (арифметические или логические), константы и параметры, входящие в модель оператора деятельности. Тогда для целевой модели оператора:

$$Mc\{pc_1, pc_2, \dots, pc_k\}, \quad (1)$$

где  $k \leq n$ .

Декларативная часть модели оператора представлена в виде комбинации параметров. Каждый из параметров является произвольной характеристикой деятельности, отдельной темы или отдельного вопро-

са. Для каждого параметра  $P_i$  устанавливаются возможные значения в виде диапазона или списка значений:

$$P_i = \begin{cases} \text{список значений} \\ \min; \max \\ NULL \end{cases}, \quad (2)$$

где «список значений» – перечисление возможных значений параметра;  $\min$ ,  $\max$  – минимальное и максимальное значения параметра, а значение  $NULL$  в каждом конкретном случае означает, что для данного вида деятельности этот параметр не установлен (не известен).

Построена модель обучения оператора к выполнению задач по предназначению (см. рис. 1). Эта модель учитывает особенности начального уровня знаний при формировании информационного воздействия и сам вид информационного воздействия.

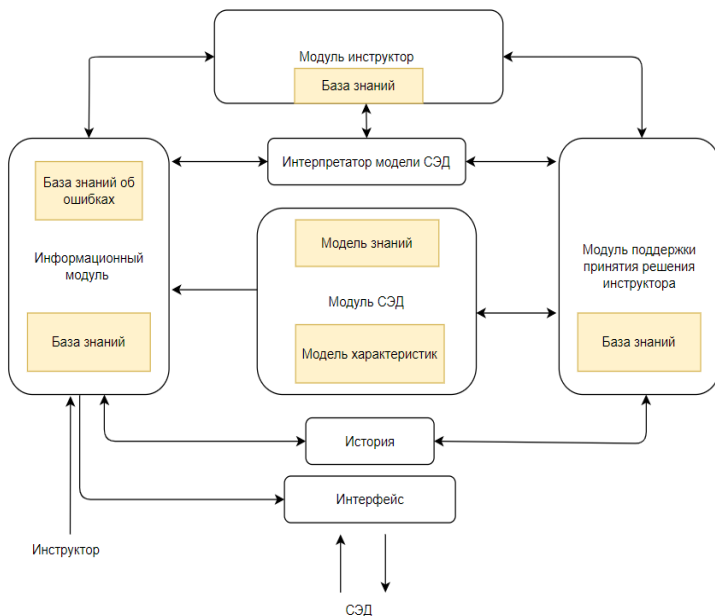


**Рис. 1. Структурная модель процесса формирования информационного воздействия на структурный элемент**

В рамках проведенного исследования, было выявлено, что мониторинг состояния оператора играет важную роль в процессе его качественной подготовки к выполнению задач по предназначению. Глав-

ным моментом в мониторинге, понимаемом как «планомерное динамическое отслеживание процесса подготовки», является диагностика динамики текущего состояния деятельности оператора и внесение корректив в его процесс подготовки посредством правильно подобранного информационного воздействия.

Проведен анализ существующих проектных разработок и программных решений управления образовательной средой. Сравнительная характеристика изученных программных решений представлена в рис. 2.

|                                  | Управление персоналом | Прогноз возможных вариантов развития событий | Вывода статистических отчетов, по результатам контрольных точек | Регистрация и анализа данных об успеваемости обучающегося вне данной системы | Мониторинг и анализ успеваемости обучающихся | Систем а принятия решений по управлению учебным процессом |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| «Галактика Управление вузом»     | +                     | -                                            | +                                                               | -                                                                            | +                                            | -                                                         |
| «SIMS.net Capita Education»      | +                     | +                                            | +                                                               | +                                                                            | +                                            | -                                                         |
| «IBS:Управление персоналом вуза» | +                     | -                                            | -                                                               | -                                                                            | -                                            | -                                                         |
| Moodle                           | -                     | -                                            | -                                                               | -                                                                            | +                                            | -                                                         |
| «1С: Университет ПРОФ»           | +                     | -                                            | -                                                               | +                                                                            | +                                            | -                                                         |
| «GS-Ведомости»                   | +                     | +                                            | +                                                               | +                                                                            | +                                            | -                                                         |
| «План»                           | -                     | +                                            | +                                                               | +                                                                            | +                                            | -                                                         |

**Рис. 2. Сравнительная характеристика информационных систем**

Анализ рассмотренных систем позволяет сделать вывод, что ни один из предложенных продуктов не позволяет проводить глубокий анализ и прогнозирование возможного варианта развития процесса подготовки оператора деятельности к выполнению задач по предназначению. Решена первая частная задача исследования.

Особое внимание посвящено разработке метода поддержки принятия решения при управлении качеством функционирования оператора и дальнейшему анализу разработанного метода. Процесс подготовки и контроля качества функционирования оператора в организационно-технической системе определяется алгоритмом  $P$  целенаправленных действий по преобразованию моделей состояния системы и описывается выражением

$$M_{\text{тек}} \Rightarrow M_{\text{тр}}, \quad (3)$$

где  $M_{\text{тек}} = \langle C_{\text{тек}}, AC_{\text{тек}}, I_{\text{тек}} \rangle$  – текущая, то есть имеющаяся в рассматриваемый момент времени информационная модель состояния (качества функционирования) ОТС;  $M_{\text{тр}} = \langle C_{\text{тр}}, AC_{\text{тр}}, I_{\text{тр}} \rangle$  – информационная модель требуемого состояния ОТС, с атрибутами, характеризующими ее работоспособное состояние;  $C_{\text{тек}}, C_{\text{тр}}$  – множества сообщений соответственно о текущем и требуемом состояниях системы;  $AC_{\text{тек}}, AC_{\text{тр}}$  – множества атрибутов типовых сообщений соответственно о текущем и требуемом состояниях системы;  $I_{\text{тек}}, I_{\text{тр}}$  – множества соответственно текущих и требуемых состояний элементов индикации средств отображения информации.

Алгоритм действий для перевода оператора деятельности из исходного (текущего) состояния в требуемое определяется выражением (4)

$$P = \langle N_{\text{ОТС}}, A_{\text{ОТС}}, O_{\text{ОТС}}, S_{\text{ОТС}} \rangle, \quad (4)$$

где  $N_{\text{ОТС}}, A_{\text{ОТС}}, O_{\text{ОТС}}, S_{\text{ОТС}}$  – множества соответственно элементов ОТС, типовых операций при переводе ОТС из исходного (текущего) состояния в требуемое, отношений между элементами системы, состояний ОТС.

Задача ППР, в результате решения которой достигается цель, при формировании информационного воздействия на структурный элемент деятельности описывается выражением:

$$Z_{\text{ППР}} = \langle U_{\text{ППР}}, R_{\text{ППР}}, P \rangle, \quad (5)$$

где  $R_{\text{ППР}}$  – результат решения задачи  $Z_{\text{ППР}}$ ;  $U_{\text{ППР}} = F(R_{\text{ППР}}, P)$ .

Результат решения задачи ППР при управлении качеством функционирования СЭД представлен в виде:

$$U_{\text{ППР}} = F(R_{\text{ППР}}, P), \quad (6)$$

где  $F(\bullet)$  – алгоритм, позволяющий синтезировать оптимальное управление на основе планируемых результатов решения задачи  $R_{\text{ППР}}$  и возможных алгоритмов действий  $P$  по переводу организационно-технической системы из текущего состояния в требуемое.

Выражения (3) – (6) представляют собой математическую модель поддержки принятия решения при управлении качеством функционирования деятельности оператора в организационно-технической системе.

В рамках исследования в качестве сложной организационно-технической системы понималась система подготовки специалистов войск РЭБ, а курсанты являлись структурными элементами деятельности.

На основе нейронной сети предложены и реализованы посредством *Deductor Studio* алгоритмы оценки текущего состояния деятельности оператора, а также алгоритмы прогнозирования состояния в будущем. Эти результаты представлены ниже на слайдах.

«Фокус-группой» анализировались курсанты при изучении дисциплин специальной подготовки. Их результаты обучения стали входными параметрами для реализации алгоритмов.

Оценка текущего состояния деятельности оператора реализована посредством алгоритма «дерево решений». Метод деревьев решений является одним из наиболее популярных методов решения задач классификации и прогнозирования.

Результатом работы алгоритма является список иерархических правил, образующих дерево. Каждое правило – это интуитивно-понятная конструкция вида «Если...то...» (*if – then*).

На рисунке 3 представлен результат работы в программе *Deductor Studio*. На основе входных параметров, система рассчитала текущий результат работы курсанта по дисциплине «Основы интеллектуального анализа данных».

Алгоритм прогнозирования состояния деятельности оператора реализован посредством самоорганизующихся карт Кохонена.

Полученные результаты проведенного моделирования позволили выявить группы слабо успевающих студентов по выбранной предметной области, нуждающихся в индивидуальном подходе к освоению материала, и группы студентов, способных перейти в более высокий кластер. При разбиении на семь кластеров такие группы попадали в отдельные кластеры, занимающие промежуточное положение между указанными выше четырьмя основными кластерами. Это видно из совместного анализа карт Кохонена для четырех и семи кластеров (рис. 4).

|                        |                     |                |                       |          |
|------------------------|---------------------|----------------|-----------------------|----------|
| Связи кластеров        |                     | Карта Кохонена | Таблица сопряженности | Что-если |
| 1 из 60                |                     |                |                       |          |
| Поле                   | Значение            |                |                       |          |
| Входные                |                     |                |                       |          |
| 9.0 србалл             | 3,8                 |                |                       |          |
| 9.0 пропуски           | 5                   |                |                       |          |
| 9.0 колоц              | 12                  |                |                       |          |
| Выходные               |                     |                |                       |          |
| ab зач                 | зачёт               |                |                       |          |
| Расчетные              |                     |                |                       |          |
| 12 Номер ячейки        | 135                 |                |                       |          |
| 9.0 Расстояние до ц... | 8,97396733165164E-8 |                |                       |          |
| 12 Номер кластера      | 0                   |                |                       |          |
| 9.0 Расстояние до ц... | 0,38632483913898    |                |                       |          |

Рис. 3. Результат работы визуализатора «Что – если»



Рис. 4. Сравнительный анализ карт Кохонена для четырех и семи кластеров

Использование полученных алгоритмов мониторинга состояния и прогнозирования состояния позволяет проводить аналогичный мониторинг оценки знаний курсантов по любым другим дисциплинам и на любом этапе обучения. Кроме того, использование данных моделей устраняет субъективность оценки преподавателя. Полученные результаты применения алгоритмов Data Mining для оценки знаний, позволяют выбрать наиболее приемлемый из исследуемых алгоритмов для решаемой задачи, что позволит судить о качестве учебного процесса и управлять его совершенствованием.

Получены и проанализированы результаты практической реализации метода, модели и алгоритмов поддержки принятия решения при

формировании информационного воздействия на структурный элемент деятельности.

Инструментом, посредством которого реализованы поставленные цели, является работа в программе *MOODLE*.

В программном комплексе *MOODLE* разработан адаптивный электронный курс, выступающий как средство практической реализации модели управления обучением и предоставляющий широкие возможности для варьирования образовательной траекторией.

На рисунках 4 и 5 представлены результаты итоговой аттестации контрольных групп. Как видим, курсанты, обучающиеся по адаптивной версии электронного курса показали более высокие результаты обучения.

Средний балл по итогам обучения в 2021–2022 учебном году составил 4,06 у обучаемых по адаптивному курсу и 3,67 балла у обучаемых по стандартной программе. В 2022–2023 учебном году средний балл увеличился до 4,24 и 3,87 балла соответственно. При этом абсолютная успеваемость составила в 2021–2022 учебном году 89,11 и 86,27%. В 2022–2023 учебном году данный показатель вырос до 91,92 и 88,68%. Из этого можно заключить, что адаптивный курс позволил обучаемым лучше адаптироваться к условиям новой реальности. Адаптивная образовательная среда предоставляет при этом больше возможностей и альтернатив для получения требуемых знаний и навыков, позволяет учесть личные возможности и приоритеты.

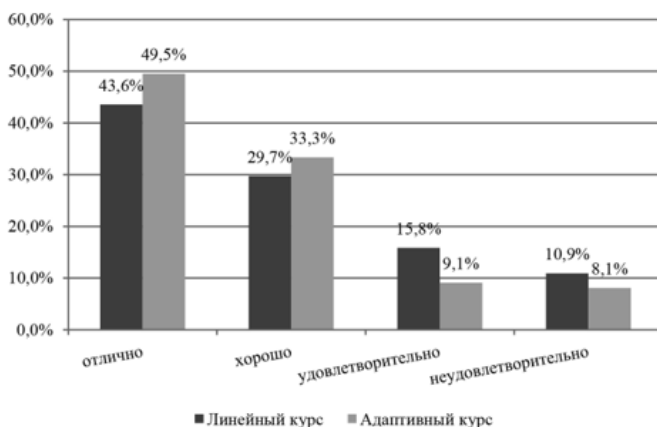


Рис. 5. Процентное распределение экзаменационных оценок

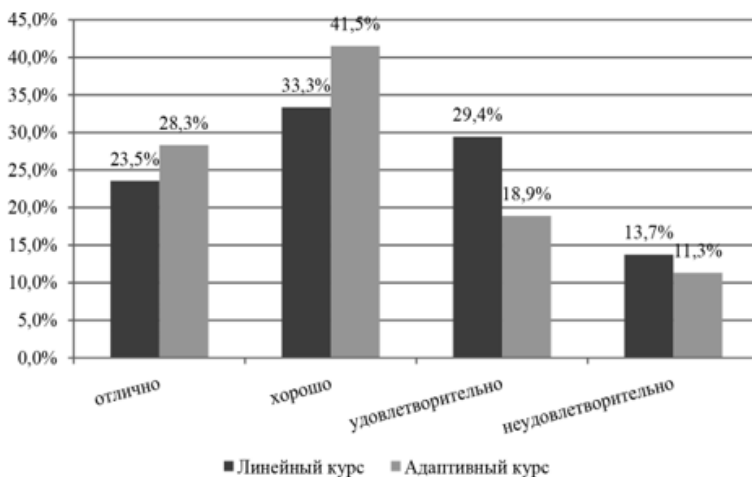


**Рис. 6. Распределение экзаменационных оценок**

**Выводы.** В результате проведенного исследования получены следующие результаты:

Метод поддержки принятия решения при управлении качеством функционирования деятельности оператора. В процессе управления качеством функционирования оператора автоматизируются процедуры поддержки принятия решения о формах и способах контроля, например: определив, какие знания недостаточны или ошибочны, можно вернуть его на соответствующий раздел теории или практики, либо дать дополнительные разъяснения или задания. Такая система позволит адаптировать процесс подготовки под особенности каждого конкретного оператора.

Разработан алгоритм оценки уровня текущего состояния деятельности оператора и его готовности выполнять профессиональные задачи в предметной области на основе нейронной сети. Использование полученного алгоритма позволяет проводить аналогичный мониторинг оценки знаний оператора по любым предметным областям и на любом этапе их функционирования. Кроме того, использование данных моделей устраняет субъективность оценки эксперта, работающего с организационно-технической системой и занимающегося обработкой результатов.

Алгоритм прогнозирования состояния деятельности оператора и его готовности выполнять профессиональные задачи в предметной области на основе нейронной сети. Использование полученной модели позволяет проводить аналогичную кластеризацию структурных элементов деятельности для проверки качества функционирования в любых предметных областях и для любого вида деятельности.

### ***Список использованных источников***

1. Алексеев В.В., Губсков Ю.А., Гусев А.А., Зайцев А.В. Разработка алгоритма военно-экономической целесообразности систем вооружения. Военная безопасность России: исторический опыт и взгляд в будущее. 9-я Международная научно-практическая конференция научного отделения № 10 Российской академии ракетных и артиллеристских наук. Москва, 14 марта 2024 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана.
2. Алейникова К.А. Формализация задачи поддержки принятия решений при управлении качеством функционирования структурного элемента деятельности в организационно-технической системе / К.А. Алейникова, В.Г. Мокрозуб, А. П. Рыжков, В. Е Дидрих // Вестник ТГТУ. – Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – С. 365-375.
3. Меркушова К.А. Перспективы применения и развития моделей построения индивидуальной траектории освоения оператором эргатехнической системы / А.А. Шишкин, К.А. Меркушова // Управление большими системами. материалы XVI Всероссийской школы-конференции молодых ученых. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – С. 270-274.
4. Алейникова К.А. Разработка интеллектуального образовательного контента / В.Г. Мокрозуб, Н.В. Молоткова, Е.С. Мищенко, К.А. Алейникова // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2022. – №3. – С. 1-9.
5. Зайцев А.В., Канушкин С.В., Чернобровка В.В., Коробков С.П. Управление ходом учебного процесса в интеллектуальных обучающих системах. Материалы межвузовской НПК, посвященной 75-летию военного обучения в МАИ, Москва, 2006, часть 1, с. 71-77.
6. Сурков М.А., Губсков Ю.А., Савкин Е.И., Громов Ю.Ю. Особенности разработки тренажеров и тренажерных комплексов для подготовки специалистов. РЭБ Промышленные АСУ и контроллеры. 2018. № 8. С. 16-31.
7. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». Интернет-ресурс [pravo.gov.ru](http://pravo.gov.ru)
8. Алексеев В.В., Власов Ю.А., Илясов А.П., Минаков С.Н. применение тренажеров и тренажерных комплексов для улучшения подготовки операторов сложных технических систем В сборнике: Информатика: проблемы, методы,

технологии. Материалы XXI Международной научно-методической конференции. Воронеж, 2021. с. 1086-1091.

9. Лебедев Г.Н., Романов О.В., Алексеев А.Ю. Проблемы построения компьютерных систем обучения специалистов ракетно-космических комплексов. Авиакосмическое приборостроение, 2003, № 9, с. 25.

10. Зайцев А.В., Курбатский Т.М., Канушкин С.В. Скубаев В.В. Обучение многослойного персептрона тесту «Адаптивность». Труды межведомственной НТК, Серпухов, 2005, часть 6, с.246-253

11. Маклаков А.Г., Чермянин С.В. Многоуровневый личностный опросник «Адаптивность» интернет-ресурс psy-resultat.ru <https://psy-resultat.ru>

УДК 623.592

**М. А. Дудин, А. Д. Обухов**

(Кафедра системы автоматизированной поддержки принятия решений, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия)

## **АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВОЙСК РЭБ НА БАЗЕ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация.* В статье рассматривается архитектура кроссплатформенного программно-аппаратного комплекса, предназначенного для симуляционной подготовки и мониторинга функционального состояния специалистов радиоэлектронной борьбы. Предложена интеграция иммерсивных технологий визуализации с аппаратными модулями сбора телеметрических данных на базе тензометрических платформ. Обосновано использование микросервисной архитектуры и протокола WebSocket для обеспечения минимальной латентности передачи данных. Представлены алгоритмы оценки психомоторного состояния оператора в процессе выполнения учебно-боевых задач в виртуальной среде.

*Ключевые слова:* войска РЭБ, учебно-тренировочные средства, виртуальная реальность, биологическая обратная связь, тензометрическая платформа, архитектура программного обеспечения, метод активной ситуации.

**ARCHITECTURE AND SOFTWARE AND METHODOLOGICAL  
SUPPORT OF AN INTELLIGENT TRAINING COMPLEX  
FOR THE TRAINING AND REHABILITATION  
OF ELECTRONIC WARFARE SPECIALISTS BASED  
ON IMMERSIVE TECHNOLOGIES**

*Abstract.* The article discusses the architecture of a cross-platform hardware and software complex designed for simulation training and monitoring of the functional state of electronic warfare specialists. The integration of immersive visualization technologies with hardware modules for collecting telemetric data based on strain gauge platforms is proposed. The use of microservice architecture and WebSocket protocol to ensure minimum latency of data transmission is justified. Algorithms for assessing the psychomotor state of an operator in the process of performing combat training tasks in a virtual environment are presented.

*Keywords:* electronic warfare troops, training facilities, virtual reality, biofeedback, strain gauge platform, software architecture, active situation method.

**Введение и актуальность.** Специфика выполнения задач подразделениями радиоэлектронной борьбы (РЭБ) в условиях современных конфликтов требует от личного состава высочайшего уровня технической подготовки, стрессоустойчивости и физической выносливости [1]. Традиционные методы подготовки, опирающиеся на использование реальных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), обладают рядом ограничений, включая выработку моторесурса дорогостоящего оборудования, зависимость от полигонной инфраструктуры и невозможность объективного аппаратного контроля когнитивного и физиологического состояния обучаемого в режиме реального времени.

Переход к автоматизированным обучающим системам (АОС) и виртуальным симуляторам является закономерным этапом эволюции средств подготовки. Однако большинство существующих решений изолируют когнитивную составляющую (знание алгоритмов работы с аппаратурой) от физиомоторной (пространственная ориентация, координация при развертывании антенно-фидерных устройств, контроль усталости). Решением данной проблемы выступает разработка комплексного интеллектуального учебно-тренировочного средства

(УТС), объединяющего симуляционное ядро визуализации обстановки и подсистему биологической обратной связи для непрерывного мониторинга функционального состояния оператора РЭБ.

**Архитектура программно-аппаратного комплекса.** Для обеспечения высокой степени надежности, модульности и защищенности обрабатываемых данных предложена гибридная архитектура программного обеспечения [2]. Центральным узлом системы выступает десктопное приложение, спроектированное на базе фреймворка Electron. Выбор данного технологического стека обусловлен необходимостью глубокой интеграции с аппаратными интерфейсами операционной системы и обеспечения автономной работы комплекса в закрытых военных сетях без доступа к глобальной сети Интернет.

Архитектура комплекса разделена на три изолированных домена: модуль управления логистикой тренировки (Frontend/Backend на базе Node.js), подсистему иммерсивной визуализации (разработанную на базе графического движка Unity) и модуль аппаратного взаимодействия (драйверы сенсорных систем и тензометрических платформ). Взаимодействие между модулями осуществляется посредством асинхронного обмена сообщениями через локальный сервер WebSocket.

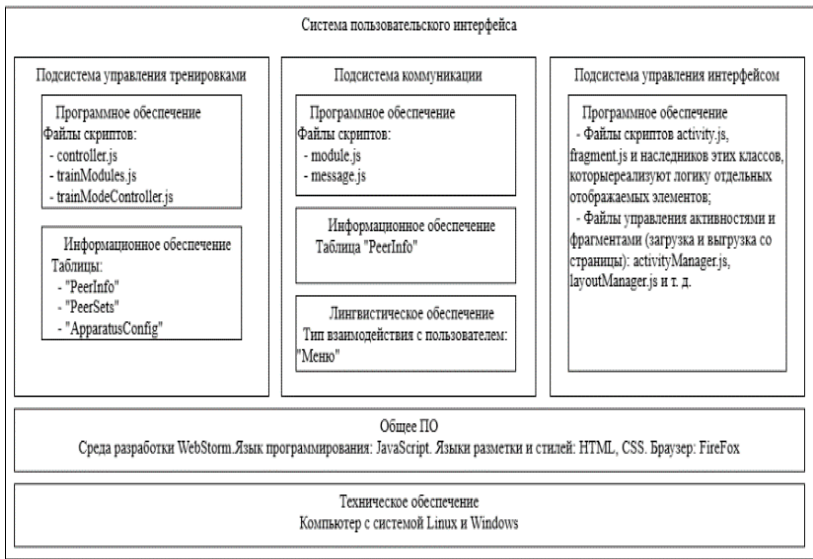


**Рис. 1. Структурная схема пользовательского интерфейса**

Использование протокола WebSocket гарантирует полнодуплексную связь с латентностью, не превышающей физиологический порог восприятия человека, что критически важно для предотвращения эффекта морской болезни при использовании шлемов виртуальной реальности. Программный интерфейс позволяет гибко масштабировать систему, добавляя новые симуляционные модели техники РЭБ (например, комплексов постановки помех или станций радиотехнической разведки) без необходимости перекомпиляции базового ядра приложения.

**Модуль определения функционального состояния специалиста.** Ключевой инновацией предлагаемого комплекса является интеграция в контур обучения модуля биомеханического анализа на основе тензометрической платформы. При выполнении нормативов в виртуальной среде – например, при имитации развертывания аппаратных комплексов в сложных метеоусловиях или при отработке действий в составе расчета мобильной станции – система в реальном времени вычисляет координаты центра давления и параметры постурального баланса обучаемого [2, 3].

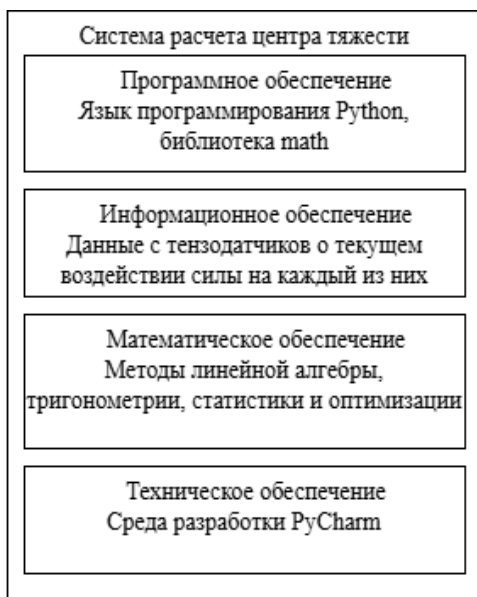


Рис. 2. Структурная схема модуля расчета центра тяжести

Математическое обеспечение модуля базируется на алгоритмах фильтрации высокочастотного шума с тензодатчиков и вычислении векторов распределения массы. Полученные пространственно-временные характеристики позволяют объективно оценивать уровень физического утомления, тремор и потерю координации. В контексте войск РЭБ это дает возможность не только тренировать мышечную память для работы с конкретными органами управления, но и проводить профессиональный психофизиологический отбор. Превышение допустимых отклонений амплитуды колебаний центра тяжести интерпретируется системой как снижение функционального резерва оператора, что инициирует протоколы адаптивного изменения сценария тренировки или рекомендации по реабилитации.

**Методическое обеспечение и оценка эффективности.** Методологическая основа комплекса опирается на метод активной ситуации, который предполагает динамическую генерацию вводных данных в зависимости от текущих показателей успеваемости и физиологического состояния военнослужащего. Система оценки переведена из плоскости бинарных проверок (выполнил/не выполнил) в плоскость непрерывного многопараметрического анализа.

Программно реализован алгоритм сопоставления графа действий оператора с эталонной моделью выполнения учебно-боевой задачи. При работе с виртуальной панелью управления станцией помех система фиксирует скорость реакции на нештатные ситуации, последовательность коммутации узлов и время удержания зрительного контакта с критическими индикаторами (при наличии систем трекинга глаз). В случае выявления паттернов ошибочных действий или регистрации высокого уровня стрессовой нагрузки (на основе данных балансометрии), симуляционное ядро способно автоматически варьировать плотность радиоэлектронной обстановки в виртуальном эфире, обеспечивая оптимальный режим когнитивной нагрузки. Интегрированная подсистема защиты информации обеспечивает криптографическое преобразование персональных данных обучаемых и результатов их нормативов, формируя защищенные локальные профили компетенций.

**Выводы.** Разработанная архитектура интеллектуального тренажерного комплекса демонстрирует высокую эффективность в задачах конвергенции когнитивной и физической подготовки специалистов войск РЭБ. Использование фреймворка Electron в связке с протоколом

WebSocket и подсистемой Unity обеспечивает создание отказоустойчивой, автономной и легко масштабируемой среды обучения [4].

Внедрение модулей объективного контроля на базе тензометрии позволяет перевести оценку функционального состояния военнослужащих на строго формализованную математическую основу. Практическое применение предложенных решений способствует снижению аварийности при эксплуатации реальных комплексов РЭБ, сокращению сроков ввода в строй молодых специалистов и формированию объективной базы данных для совершенствования методик боевой подготовки и эргономики перспективных образцов техники. Вектор дальнейших исследований направлен на интеграцию методов машинного обучения для предиктивного анализа профессионального выгорания операторов сложных радиотехнических систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью» (№ 124032800018-5).

### ***Список использованных источников***

1. Системный подход к построению программно-аппаратного комплекса для подготовки специалистов по информационной безопасности / В. В. Алексеев, В. А. Гриднев, А. В. Яковлев [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 20-30.
2. Обухов, А. Д. Микросервисная архитектура виртуальных тренажерных комплексов / А. Д. Обухов, А. А. Волков, А. О. Назарова // Информатика и автоматизация. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 1265-1289.
3. Волков А. А., Майоров Н. И., Обухов А. Д. Разработка алгоритмического обеспечения взаимодействия имитационных компонентов опорно-двигательной реабилитации// Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы XI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 10–12 ноября 2025 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2025. – С. 237-240;
4. Патутин К. И. Формализованная постановка задачи выбора человеко-машинного интерфейса для реабилитирующих тренажеров// Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы XI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 10–12 ноября 2025 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2025. – С. 130-133.

**Ю. В. Никитников, М. А. Шильцын, В. С. Круглов**  
(Кафедра Энергетики, приборостроения и радиоэлектроники,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

## **ОЦЕНКА КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ОПЕРАТОРОВ РЭБ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЭГ И ЭКГ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ**

*Аннотация.* В данной статье предложен подход к оценке когнитивной нагрузки и стрессоустойчивости операторов РЭБ на основе анализа ЭЭГ и ЭКГ в виртуальной среде. Проанализирован опыт интеграции биологической обратной связи в виртуальные тренажеры для коррекции фобических расстройств. Разработана архитектура адаптивного тренажера, включающая модули регистрации физиологических сигналов, оценки когнитивной нагрузки, адаптации виртуальной сцены и визуализации сценариев. Схема взаимодействия модулей реализует замкнутый контур биологической обратной связи, позволяющий динамически изменять параметры среды в зависимости от состояния оператора. На базе Unity 3D предложен прототип для моделирования штатных и чрезвычайных ситуаций.

*Ключевые слова:* когнитивная нагрузка, стрессоустойчивость, операторы РЭБ, ЭЭГ, ЭКГ, биологическая обратная связь, виртуальная реальность, адаптивный тренажер, Unity 3D, чрезвычайные ситуации.

**Yu. V. Nikitnikov, M. A. Shiltsyn, V. S. Kruglov**  
(Department of Energy sectors, instrument engineering, and radio  
electronics, Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

## **ASSESSMENT OF COGNITIVE LOAD AND STRESS RESISTANCE OF ELECTRONIC WAR OPERATORS BASED ON EEG AND ECG ANALYSIS IN A VIRTUAL ENVIRONMENT**

*Abstract.* An approach to assessing cognitive load and stress resistance of electronic warfare operators based on EEG and ECG analysis in a virtual environment is proposed. The experience of integrating biofeedback into virtual simulators for phobia correction is analyzed. The architecture of an adaptive simulator is developed, including modules for physiological signal registration, cognitive load assessment, virtual scene adaptation, and scenario visualization.

The module interaction scheme implements a closed biofeedback loop, allowing dynamic changes of environment parameters depending on the operator's state. A prototype based on Unity 3D provides simulation of normal and emergency situations.

*Keywords:* cognitive load, stress resistance, electronic warfare operators, EEG, ECG, biofeedback, virtual reality, adaptive simulator, Unity 3D, emergency situations.

**Введение.** Применение оценки когнитивной нагрузки и использование виртуальной среды активно используется для выявления и реабилитации фобических расстройств. Основываясь на данных исследованиях, предлагается разработать виртуальный тренажер для обучения и подготовки операторов РЭБ к действиям при чрезвычайных ситуациях [1]. **Для объективной регистрации функционального состояния предложено использовать анализ ЭЭГ и ЭКГ, позволяющий количественно оценить уровень стрессоустойчивости.**

**Анализ существующих подходов к интеграции биологической обратной связи в виртуальные тренажеры.** В ходе предварительных исследований был реализован прототип тренажера для коррекции фобий с использованием БОС [2]. Система регистрирует ЭЭГ и ЭКГ, после калибровки в нейтральной обстановке переходит к симуляции фобического стимула, динамически изменяя его параметры (размер, количество, расстояние) для поддержания уровня стресса в заданном диапазоне. Сеансы сохраняются в базу данных для анализа динамики реабилитации.

Еще одним примером реализации подобных систем является прототип виртуального тренажера для диагностики фобических расстройств (арахнофобии и акрофобии), разработанный с использованием биологической обратной связи [3]. Аппаратная часть включает электроэнцефалограф «НЕЙРОН-СПЕКТР-4/П» и шлема виртуальной реальности, изображенный на рис. 1.

Таким образом, рассмотренные прототипы виртуальных тренажеров с биологической обратной связью демонстрируют успешное применение ЭЭГ и ЭКГ для динамического изменения параметров среды в зависимости от психофизиологического состояния пользователя. Данный подход подтверждает свою эффективность для коррекции фобических расстройств и может быть адаптирован для решения других задач, связанных с оценкой когнитивной нагрузки и стрессоустойчивости операторов.

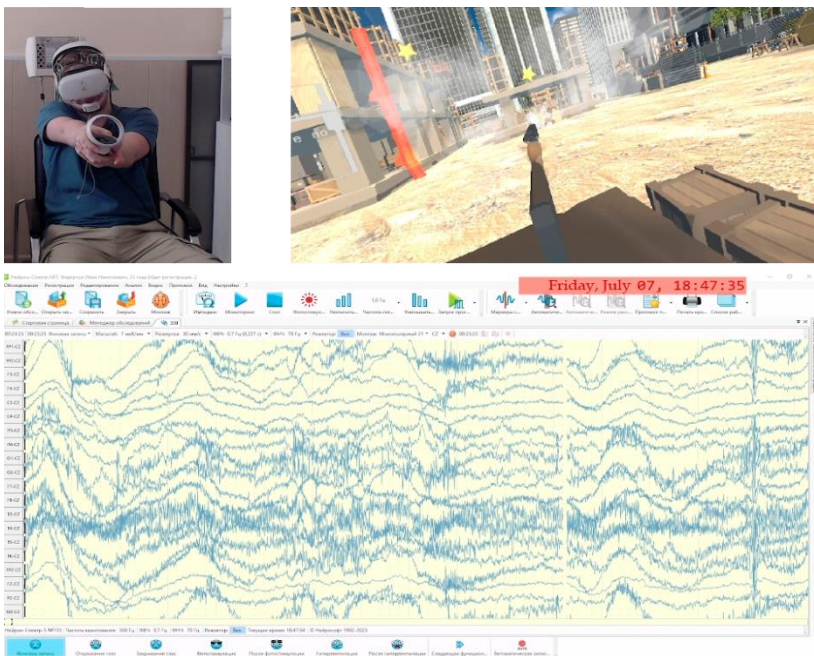


**Рис. 1. Пример виртуального тренажера для коррекции фобических расстройств**

**Архитектура виртуального тренажера для операторов с оценкой когнитивной нагрузки по ЭЭГ и ЭКГ.** На основе результатов предшествующих исследований по интеграции биологической обратной связи в виртуальные среды была предложена архитектура для прототипа виртуального тренажера для подготовки операторов РЭБ к действиям в чрезвычайных ситуациях.

Тренажер представляет собой аппаратный комплект, состоящий из следующих компонентов:

1. Модуль регистрации физиологических сигналов – обеспечива-ет синхронный сбор ЭЭГ и ЭКГ сигналов
2. Модуль оценки текущего состояния – классифицирует уро-вень когнитивной нагрузки оператора
3. Модуль адаптации виртуальной сцены – на основе текущего и целевого состояния оператора формирует управляющие сигналы для изменения параметров среды

4. Модуль визуализации сценариев – реализует виртуальную среду в Unity 3D и содержит библиотеку сценариев

Все сценарии могут иметь несколько ветвлений, выбор которых зависит от реакции оператора как поведенческой, так и физиологической (рис. 2).

Для визуализации могут быть использованы приближенные к реальности 3D-модели, звуковые и визуальные эффекты. В качестве среды разработки выступает Unity 3D с поддержкой шлема виртуальной реальности. Рабочее место оператора РЭБ может включать в себя панель управления с индикаторами частотного спектра, органами настройки и средствами связи. Пространство сцены стилизовано под мобильный пункт управления: кресло оператора, иллюминаторы, дополнительные рабочие станции.

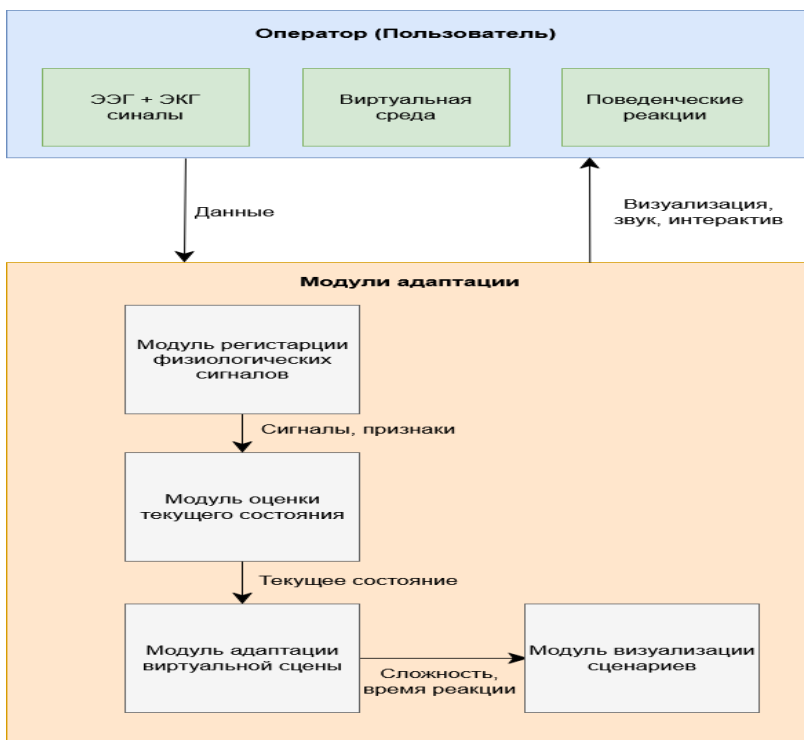


Рис. 2. Схема взаимодействия модулей виртуального тренажера с биологической обратной связью

Симуляция чрезвычайных ситуаций реализуется через событийную модель, запускающую сценарии различной степени тяжести: от внезапного зашумления каналов связи до комплексных аварий, включающих отказ оборудования, массированную радиоэлектронную атаку и внешнее поражение пункта управления. Визуальные эффекты синхронизированы с акустическим сопровождением и динамически нарастают при повышении уровня когнитивной нагрузки оператора. Пример реализации виртуальной сцены с очагом возгорания приведен на рис. 3.



**Рис. 3. Виртуальный тренажер с очагом возгорания**

**Выводы.** Проведенный анализ опыта интеграции биологической обратной связи в виртуальные тренажеры для коррекции фобических расстройств, подтверждающий перспективность использования ЭЭГ и ЭКГ для оценки психофизиологического состояния операторов. На основе этого анализа предложена архитектура адаптивного тренажера для операторов РЭБ. Реализация предложенной системы возможна на базе Unity 3D и существующих физиологических регистраторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка иммерсивной системы взаимодействия с виртуальной реальностью для профессиональной подготовки на основе всенаправленной платформы» (№ 124102100628-3).

### ***Список использованных источников***

1. Системный подход к построению программно-аппаратного комплекса для подготовки специалистов по информационной безопасности / В. В. Алексеев, В. А. Гриднев, А. В. Яковлев [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 20-30.

2. Круглов В. С., Никитников Ю. В., Назарова А. О. Применение систем с биологической обратной связью при разработке системы нейтрализации фобических расстройств. // Молодежь для устойчивого развития регионов: Материалы научно-практической конференции студенческих научных объединений, Тамбов, 21 сентября 2023 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 149-152.

3. Круглов В. С., Назарова А. О., Никитников Ю. В. Реализация протокола виртуального тренажера с биологической обратной связью для диагностики фобических расстройств // Молодежная наука в развитии регионов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Березники, 24 апреля 2024 года. – Березники, 2024. – С. 15-17.

УДК 621.396.6

**В. В. Алексеев<sup>1, 2</sup>, И. В. Клишкин<sup>2</sup>, Г. А. Лахно<sup>2</sup>, Р. М. Башкиров<sup>2</sup>**

<sup>(1)</sup>Тамбовский государственный технический университет,

<sup>(2)</sup>Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛИСТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

*Аннотация.* В статье поставлена проблема оценки эффективности учебно-тренировочных средств, применяемых при подготовке специалистов радиоэлектронной борьбы. Целью исследования является разработка методики оценки эффективности учебно-тренировочных средств на основе системного анализа, позволяющей формализовать процесс подготовки и количественно оценивать уровень профессиональных компетенций с использованием данных, регистрируемых учебно-тренировочным средством. Методы решения данной проблемы базируются на положениях системного анализа, методах экспертных оценок, математической статистике и теории эффективности сложных систем. Предложена двухуровневая система показателей эффективности,

включающая непосредственные результаты тренировки (время выполнения норматива, полнота выполнения шагов) и интегральные показатели (относительное отклонение времени, оценка, скорость обучения). Предложен интегральный критерий оценки эффективности, учитывающий весовые коэффициенты значимости отдельных показателей. Результаты данной работы включают формализованное описание процесса подготовки специалистов РЭБ с использованием учебно-тренировочных средств, методику сбора и обработки данных, а также алгоритм расчета интегрального показателя эффективности. Предложенная методика апробирована на примере оценки эффективности учебно-тренировочного средства станции помех «Ртуть-БМ», разработанного на платформе Unity. Полученные результаты позволяют обоснованно выбирать и совершенствовать учебно-тренировочные средства, а также оптимизировать процесс подготовки специалистов.

*Ключевые слова:* радиоэлектронная борьба, системный анализ, учебно-тренировочные средства, эффективность подготовки, методика оценки, тренажерные системы, Unity.

**V. V. Alekseev<sup>1, 2</sup>, I. V. Klimkin<sup>2</sup>, G. A. Lahno<sup>2</sup>, R. M. Bashkirov<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Tambov State Technical University,

<sup>2</sup>Interspecific Training and Combat Use Center Electronic Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **A METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF ELECTRONIC WARFARE TRAINING AIDS BASED ON SYSTEMS ANALYSIS**

*Abstract.* The article raises the problem of evaluating the effectiveness of training aids used in the preparation of electronic warfare specialists. The aim of the study is to develop a methodology for evaluating the effectiveness of training aids based on systems analysis, which makes it possible to formalize the training process and quantitatively assess the level of professional competencies using data recorded by the training aids. The methods for solving this problem are based on the principles of systems analysis, expert evaluation methods, mathematical statistics, and the theory of complex system effectiveness. A two-level system of effectiveness indicators is proposed, comprising direct training results (standard procedure completion time, completeness of step execution) and integral indicators (relative time deviation, grade, learning rate). An integral effectiveness criterion that accounts for the weight coefficients of individual indicators is developed. The results of this work include a formalized description of the training process for electronic warfare specialists using training aids, a methodology for data collection and processing, and

an algorithm for calculating the integral effectiveness indicator. The proposed methodology was tested on the example of evaluating the effectiveness of a virtual operator trainer for an electronic suppression station developed on the Unity platform. The obtained results enable a well-grounded selection and improvement of training aids, as well as optimization of the specialist training process.

*Keywords:* electronic warfare, systems analysis, training aids, training effectiveness, evaluation methodology, simulator systems, Unity.

**Введение.** Современные условия ведения боевых действий предъявляют повышенные требования к уровню подготовки специалистов радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Динамика развития средств и комплексов РЭБ, усложнение решаемых задач, необходимость быстрого принятия решений в условиях жесткого временного дефицита – все это определяет необходимость поиска новых подходов к подготовке кадров.

Одним из перспективных направлений является использование учебно-тренировочных средств (тренажеров и тренажных систем), позволяющих моделировать различные варианты радиоэлектронной обстановки, отрабатывать навыки работы с аппаратурой без привлечения реальной техники, а также проводить многократные тренировки в условиях, максимально приближенных к боевым.

Как отмечает В.В. Алексеев в материалах IV Всероссийской военно-исторической конференции «Войска радиоэлектронной борьбы. История, состояние и перспективы развития», «развитие методов системного анализа применительно к сложным организационно-техническим системам, включающим человеко-машинные комплексы, позволяет решать задачи оптимизации процессов подготовки специалистов» [1].

Однако, как справедливо указывают В.Ф. Мельников, П.С. Молоканов и другие авторы, «отсутствует единая методология внедрения в подготовку специалистов РЭБ высокотехнологических технических средств обучения, в том числе тренажерных систем» [2]. Более того, «разработка научно-педагогических основ применения современных тренажеров не успевает за развитием их облика и возможностей» [2].

В связи с этим актуальной является задача разработки методики оценки эффективности учебно-тренировочных средств, которая позволила бы на системной основе анализировать результативность их применения и вырабатывать рекомендации по совершенствованию.

**Системный анализ процесса подготовки специалистов РЭБ с использованием учебных тренировочных средств.** В данном разделе представлена формализация учебно-тренировочных средств (УТС), как объект исследования. Учебно-тренировочные средства представляют собой скомпилированные приложения, разработанные на игровом движке Unity. Для каждой единицы техники радиоэлектронной борьбы (станция помех, комплекс разведки и т.п.) в УТС написаны нормативы – последовательность операций, которые должен выполнить оператор, а также нормативное время на их выполнение.

По завершению выполнения норматива на экран выводится табло, отображающее:

- Фактическое время выполнения норматива;
- Оценка (например, «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»), формируемую на основе сравнения с нормативным временем и полноты выполнения шагов.

С позиций системного анализа такое учебно-тренировочное средство может быть представлено как человеко-машинная система, входными параметрами которой являются:

- $S_0$  – начальный уровень подготовленности обучаемого;
- $C$  – сложность выбранного норматива (тип техники, режим работы);
- $T$  – допустимое время тренировки;
- $X_{\text{техн}}$  – технические характеристики тренажера (адекватность интерфейса, быстродействие).

Выходными параметрами системы служат показатели, регистрируемые учебно-тренировочным средством и отображаемые на итоговом табло:

- $t_{\text{факт}}$  – фактическое время выполнения норматива;
- $n_{\text{вып}}$  – количество правильно выполненных шагов;
- $G$  – итоговая оценка (дискретная или числовая).

Управляющим воздействием выступает методика применения УТС (выбор последовательности нормативов, количество повторений, режим тренировки с подсказками и т.д.).

Поскольку тренажер непосредственно фиксирует лишь время, полноту выполнения шагов и выдаваемую оценку, оценка эффективности должна строиться на этих измеримых параметрах. Предлагается двухуровневая иерархия показателей эффективности (рис. 1).

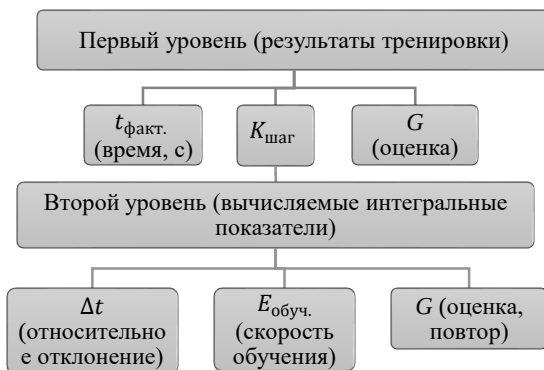


**Рис. 1. Иерархическая структура показателей эффективности учебно-тренировочного средства (на основе данных, отображаемых на итоговом табло)**

Первый уровень (непосредственные результаты тренировки):

- $t_{\text{факт}}$  – фактическое время выполнения норматива (с);
- $K_{\text{шаг}}$  – коэффициент полноты выполнения шагов:

$$K_{\text{шаг}} = \frac{n_{\text{вып}}}{n_{\text{общее}}}, \quad (1)$$

где  $n_{\text{вып}}$  – количество правильно выполненных шагов норматива,  $n_{\text{общее}}$  – общее количество шагов.

Второй уровень (интегральные показатели эффективности тренажера):

- $\Delta t$  – относительное отклонение времени от норматива:

$$\Delta t = \frac{t_{\text{факт}} - t_{\text{норм}}}{t_{\text{норм}}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{норм}}$  – нормативное время.

–  $G$  – оценка, формируемая на основе правил, заложенных в тренажер (обычно комбинация  $\Delta t$  и  $K_{\text{шаг}}$ ).

–  $E_{\text{обуч}}$  – скорость обучения, определяемая как улучшение показателей при повторных прохождении норматива:

$$E_{\text{обуч}} = \frac{\Delta t_{\text{нач}} - \Delta t_{\text{посл}}}{\Delta t_{\text{нач}}}, \quad (3)$$

где  $\Delta t_{\text{нач}}$ ,  $\Delta t_{\text{посл}}$  – относительное отклонение времени при первом и последнем прохождении норматива в серии тренировок.

В отличие от расширенных методик, здесь исключены показатели, требующие внешнего психофизиологического оборудования или сложного анкетирования. Вся необходимая информация извлекается непосредственно из итогового табло.

На рисунке 2 приведен пример интерфейса итогового табло тренажера, где отображаются зафиксированные показатели и итоговая оценка.



Рис. 2. Пример итогового табло учебно-тренировочного средства (Unity)

**Методика оценки эффективности учебно-тренировочных средств.** К методике оценки эффективности учебно-тренировочных средств была разработана математическая модель. Предлагаемая методика базируется на использовании интегрального критерия эффективности  $E$ , представляющего собой свертку частных показателей с учетом их значимости. В качестве базовых показателей используются величины, регистрируемые УТС:

$$E = \sum_{i=1}^n w_i k_i, \quad (4)$$

где  $w_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го показателя, удовлетворяющий условию  $\sum_{i=1}^n w_i k_i$ , – нормированное значение  $i$ -го показателя.

Для оценки эффективности конкретного УТС (или методики его применения) предлагается использовать три показателя второго уровня, приведенных в разделе 2:

- $k_1 = \bar{\Delta t}$  – среднее относительное отклонение времени по группе обучаемых;
- $k_2 = \bar{G}$  – средняя оценка;
- $k_3 = \overline{E_{\text{обуч}}}$  – средняя скорость обучения.

Нормирование показателей осуществляется с использованием метода линейного масштабирования. Для показателей, максимизация которых желательна (средняя оценка, скорость обучения), используется формула:

$$k_{2,3} = \frac{x_i - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}. \quad (5)$$

Для показателя  $\bar{\Delta t}$  (минимизация отклонения желательна) нормирование выполняется как:

$$k_1 = 1 - \frac{\Delta t - \Delta t^{\min}}{\Delta t^{\max} - \Delta t^{\min}}. \quad (6)$$

Для определения весовых коэффициентов  $w_i$  используется метод экспертных оценок. Процедура включает формирование экспертной группы из числа специалистов в области подготовки кадров РЭБ, имеющих опыт эксплуатации тренажерных средств, и анкетирование с целью ранжирования показателей по степени значимости.

Для повышения достоверности экспертной оценки целесообразно учитывать степень компетентности каждого эксперта.

В рамках данной работы весовые коэффициенты были установлены следующим образом:

- $w_1 = 0,4$  (среднее относительное отклонение времени);
- $w_2 = 0,4$  (средняя оценка);
- $w_3 = 0,2$  (средняя скорость обучения).

Такое распределение отражает приоритет итоговых результатов тренировки (время и оценка) над динамикой обучения, что характерно для оценки тренажерных средств, используемых в цикле подготовки операторов.

Данные для оценки собираются в процессе работы УТС. Для каждого прохождения норматива в протокол заносятся:

–  $t_{\text{факт}}$

–  $n_{\text{вып}}$

–  $G$ .

На основе этих данных вычисляются показатели первого и второго уровня. Для оценки скорости обучения фиксируются результаты нескольких прохождений одного и того же норматива одним обучаемым; при этом учитывается не менее трех попыток.

**Экспериментальная апробация методики.** Условия проведения эксперимента. Апробация разработанной методики проводилась на базе учебно-тренировочного средства станции помех «Ртуть-БМ», разработанного на платформе Unity. В эксперименте приняли участие 16 операторов, разделенных на две группы по 8 человек:

– Экспериментальная группа (ЭГ) – подготовка с использованием разработанного УТС;

– Контрольная группа (КГ) – подготовка по традиционной методике с использованием штатных учебных средств (плакаты, макеты, теоретические занятия).

Обе группы выполняли один и тот же норматив Н-ТСП-1: «Развертывание АСП» (32 шагов, нормативное время 300 секунд). В экспериментальной группе тренировки проводились на учебно-тренировочном средстве, фиксировались данные по каждому прохождению. В контрольной группе оценка производилась инструктором с помощью секундомера и контрольного листа.

Длительность эксперимента составила 2 недели, в течение которых каждая группа выполнила по 5 тренировочных сессий (по 3 – 5 повторений норматива в сессии).

Результаты эксперимента и оценки показателей для обеих групп представлены в табл. 1.

# **1. Результаты оценки эффективности учебных тренировочных средств**

| Показатели                                                                                                                            | Экспериментальная группа (ЭГ) | Контрольная группа (КГ) | Весовой коэффициент |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Среднее относительное отклонение времени $\Delta \bar{t}$                                                                             | 0,22                          | 0,34                    | 0,4                 |
| Средняя оценка $\bar{G}$<br>(в баллах:<br>5 – отлично;<br>4 – хорошо;<br>3 – удовлетвори-<br>тельно;<br>2 – неудовлетвори-<br>тельно) | 3,96                          | 3,1                     | 0,4                 |
| Средняя скорость обучения $\bar{E}_{обуч}$                                                                                            | 0,51                          | 0,29                    | 0,2                 |

Нормированные значения показателей (по формулам раздела 3) составили:

– Для ЭГ:

$$k_1 = 1 - \frac{(0,22 - 0)}{(0,5 - 0)} = 0,56; \quad k_2 = \frac{(3,96 - 2)}{(5 - 2)} = 0,65;$$

$$k_3 = \frac{(0,51 - 0)}{(1 - 0)} = 0,51.$$

– Для КГ:

$$k_1 = 1 - \frac{(0,34 - 0)}{(0,5 - 0)} = 0,32; \quad k_2 = \frac{(3,1 - 2)}{(5 - 2)} = 0,36;$$

$$k_3 = \frac{(0,29 - 0)}{(1 - 0)} = 0,29.$$

Интегральный показатель эффективности:

$$E_{ЭГ} = 0,4 \cdot 0,56 + 0,4 \cdot 0,65 + 0,2 \cdot 0,51 =$$

$$= 0,244 + 0,260 + 0,102 = 0,606;$$

$$E_{КГ} = 0,4 \cdot 0,32 + 0,4 \cdot 0,36 + 0,2 \cdot 0,29 =$$

$$= 0,128 + 0,144 + 0,058 = 0,33.$$

Полученные результаты свидетельствуют о более высокой эффективности подготовки с использованием разработанного учебно-тренировочного средства (интегральный показатель на 83% выше по сравнению с традиционной методикой).

Статистическая значимость различий проверялась с использованием критерия Стьюдента для средних значений времени выполнения норматива. Расчетное значение  $t_{\text{расчет}} = 3,87$  превышает критическое значение  $t_{\text{кр}} = 2,05$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , что позволяет сделать вывод о статистически значимых различиях между группами.

На рисунке 3 представлена динамика изменения времени выполнения норматива в процессе тренировок.

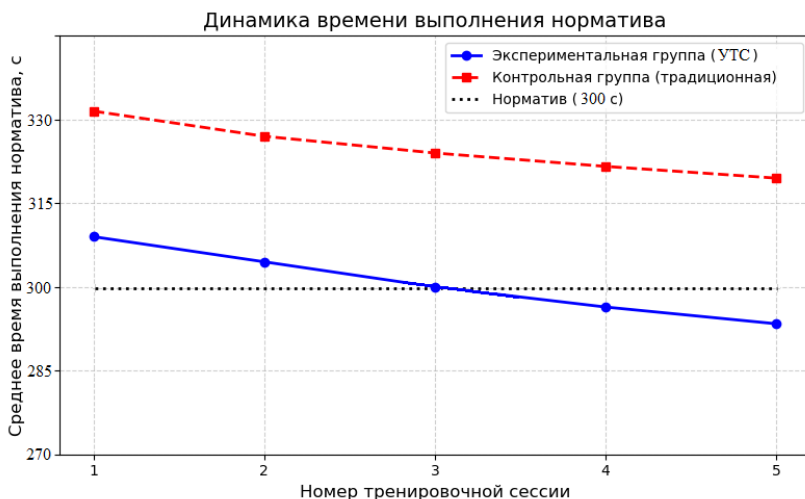


**Рис. 3. Динамика времени выполнения норматива в экспериментальной и контрольной группах**

**Направления совершенствования методики.** На основе анализа полученных результатов и с учетом выявленных в процессе эксперимента особенностей могут быть предложены следующие направления совершенствования методики оценки эффективности:

1. Адаптивное формирование последовательности нормативов. На основе накопленных данных может быть реализован алгоритм,

который автоматически подбирает следующий норматив в зависимости от успешности предыдущих попыток.

2. Расширение перечня оцениваемых параметров. Перспективным является включение в протокол данных о времени выполнения каждого отдельного шага норматива, что позволит более точно диагностировать типичные ошибки операторов.

3. Создание банка данных об эффективности тренажерных средств. Накопление статистических данных позволит уточнить весовые коэффициенты и повысить обоснованность принимаемых решений.

**Выводы.** В результате проведенного исследования разработана методика оценки эффективности учебно-тренировочных средств для специалистов радиоэлектронной борьбы на основе системного анализа, адаптированная под УТС, регистрирующие время выполнения норматива, полноту шагов и итоговую оценку. Методика позволяет:

1. Формализовать процесс подготовки специалистов РЭБ с использованием тренажерных средств.

2. Проводить количественную оценку эффективности на основе двухуровневой системы показателей, извлекаемых из протоколов тренажера.

3. Обоснованно выбирать и совершенствовать учебные тренировочные средства.

4. Осуществлять мониторинг динамики формирования профессиональных компетенций.

Экспериментальная апробация методики подтвердила ее работоспособность и позволила выявить статистически значимые различия в эффективности подготовки с использованием виртуального тренажера по сравнению с традиционной методикой.

Дальнейшие исследования предполагают развитие методики в направлении автоматизации обработки данных, внедрения адаптивных алгоритмов формирования индивидуальных траекторий обучения и расширения перечня анализируемых параметров.

### ***Список использованных источников***

1. Войска радиоэлектронной борьбы. История, состояние и перспективы развития: сборник научных статей IV Всероссийской военно-исторической конференции. Тамбов, 23 апреля 2025 г. / под общ. ред. В.В. Алексеева. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – 178 с.

2. Мельников, В.Ф. Организация мониторинга состояния применения тренажеров в частях РЭБ / В.Ф. Мельников, П.С. Молоканов, А.В. Петров, Ю.Г. Царькова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2023. – № 2. – С. 45–52.

3. Потапов, А.Н. Обеспечение качества применение компьютерных систем тренажа: монография / А.Н. Потапов, В.А. Дикарев, Р.Р. Султанов; под ред. В.В. Сысоева. – Балашов: Николаев, 2002. – 88 с.

4. Алексеев, В.П. Системный анализ и методы научно-технического творчества: учебное пособие / В.П. Алексеев. – Томск: ТУСУР, 2015. – 325 с.

5. Алексеев, В.В. Теоретические основы построения и применения научно-исследовательского комплекса мониторинга характеристик защищенности конфиденциальной информации: монография / В.В. Алексеев, В.А. Гриднев, М.В. Моисеева и др. – Тамбов : ТГТУ, 2022. – 100 с.

УДК 355.233

**М. Д. Дмитриев**

(Кафедра мехатроники и технологических измерений,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

## **МОДУЛЬ РЕКОМЕНДАЦИЙ СИСТЕМЫ «ОБРАЗ ОПТИМАЛЬНОГО СПЕЦИАЛИСТА»**

*Аннотация.* В результате проведенного исследования, разработана модель нейросети для реализации автоматизированной информационной системы «Образ оптимального специалиста». Нейросеть необходима для анализа результатов тестирования студентов с целью оптимизации их обучения. Использованные методы включают экспертную оценку, анализ и нормализацию данных, визуализация систем с помощью схем UML, методы работы GRNN нейросетей. Обоснованы вычислительные и аналитические методы, наиболее подходящие для функционирования элемента «модуль рекомендаций».

*Ключевые слова:* анализ данных, компетентностный подход, моделирование, нахождение важности дисциплин, оптимизация, определение качества знаний, тестирование студентов, экспертная оценка.

**M. D. Dmitriev**

(Department of Mechatronics and Technological Measurements,  
Tambov State University Technical University, Tambov, Russia)

## **THE SYSTEM'S RECOMMENDATION MODULE «THE IMAGE OF AN OPTIMAL SPECIALIST»**

*Abstract.* As a result of the research, a neural network model has been developed for the implementation of the automated information system «Image of an optimal specialist». A neural network is necessary to analyze the test results of students in order to optimize their learning. The methods used include expert assessment, data analysis and normalization, visualization of systems using UML schemes, and GRNN neural network methods. The computational and analytical methods that are most suitable for the functioning of the «recommendation module» element are substantiated.

*Keywords:* data analysis, competence approach, modeling, finding the importance of disciplines, optimization, determining the quality of knowledge, testing students, expert assessment.

**Введение.** Для реализации автоматизированной информационной системы «Образ оптимального специалиста» [1, 2] необходимо описать функционал ее элементов. В этой статье, рассмотрим функционал рекомендаций реализации дальнейшей работы системы «Образ оптимального специалиста». На рисунке 1 изображена классовая *UML* [3] диаграмма для вышеупомянутой системы.

Если представить систему как рабочую программу, то она будет разделена на несколько модулей. Центральный модуль предполагает возможность взаимодействия с отдельными частями системы и разделяет их между собой. Через него можно зарегистрировать пользователя, войти в систему, открыть другие модули.

Класс пользователя представляет собственно человека, взаимодействующего с системой. Пользователь может быть студентом (в таком случае его доступ к функциям ограничен, и подразумевает только тестирование), преподавателем (в этом случае появляется доступ к модулю подготовки и редактору тестов) и администратором (полный доступ, включая манипуляцию с нейросетевой частью системы).

Модуль подготовки отвечает за одноименную подсистему подготовки. В нем можно провести расчет *NSP* дисциплин и ввести параметры для курса, в котором они находятся, в частности, часть семестра в которой будут проводиться тесты.

Модуль тестирования содержит в себе все функции взаимодействия с тестами: редактирование и прохождение. Редактор тестов открывается из модуля тестирования.

Тесты проходятся в окне тестирования и могут содержать в себе вопросы из уже существующих тестов.

Наконец, модуль рекомендации позволяет генерировать рекомендацию по результатам теста, обучить нейросеть и сохранить ее параметры в виде образа.

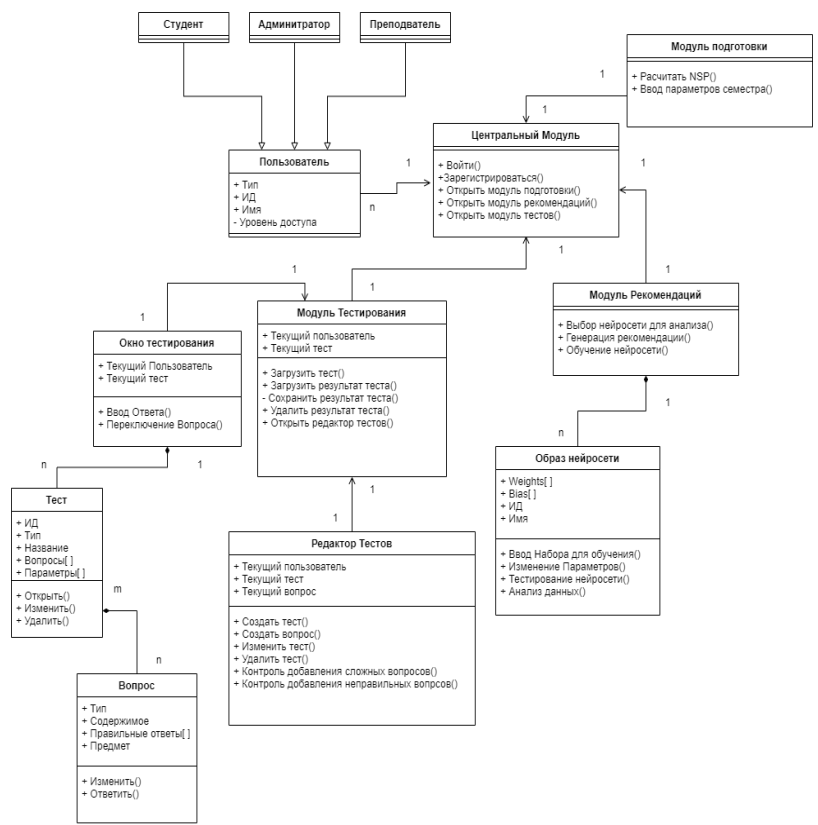


Рис. 1. Классовая диаграмма системы «Образ оптимального специалиста»

Данная структура подразумевает хранение: пользовательских данных, тестов, вопросов, параметров дисциплин, образов нейросетей, результатов.

**Разработка модели нейросети для системы «Образ оптимального специалиста».** Рассмотрим необходимые аспекты образа нейросети. Для обучения нейросети, необходимо снова проконсультироваться с экспертами [4].

Преподаватели, на основе полученных взвешенных баллов определяют как распределить часы между лабораторными и лекционными занятиями [5]. Это наши тренировочные данные. Баллы можно расположить в порядке возрастания – самые важные должны получить дополнительные часы для лекций, самые неважные дополнительные практические.

Таким образом, нейросеть должна анализировать уровень знаний и рассчитывать изменения часов на их основе. На данном этапе предлагается нейросеть, на входной слой которой поступают взвешенные недостатки баллов из результатов теста [6]. Каждый нейрон соответствует определенной дисциплине. Размерность сети совпадает с их количеством. Последовательный ввод данных отсутствует, так как наш набор данных не разделен на временные промежутки.

На выходном слое мы ожидаем числовое значение перераспределенных часов для каждой дисциплины. То есть, каждый выход – это число, отрицательное или положительное, соответствующее перераспределенным часам. Выходов столько, сколько дисциплин было разобрано в тесте. Обучение можно провести на наборах данных, проверенных экспертами.

Проблему поиска значений можно классифицировать как регрессию [7]. Существуют решения, на которых мы можем основывать нейросеть.

После рассмотрения различных вариантов кластеризации данных типов GRNN [8] и PNN выбрана нейросеть типа GRNN, которая предполагает кластеризацию данных и аппроксимацию функций, а также обладает высокой скоростью обучения. Для начала нам не нужны рекуррентные возможности, так как система, что мы рассматриваем не обладает динамикой (1).

На рисунке 2 изображена архитектура сети GRNN.

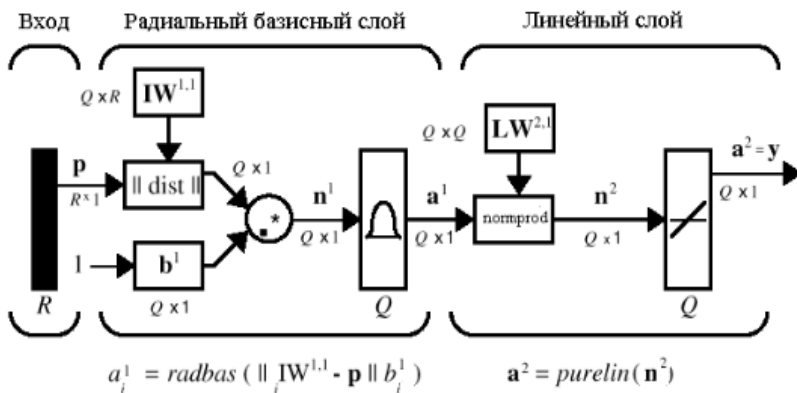


Рис. 2. Архитектура GRNN сети

Архитектура представляет собой радиальную базисную сеть, использующую блок `normprod`. Этот блок, в свою очередь, можно представить как

$$n^2 = \frac{LW a}{\text{sum}(a)},$$

где  $LW$  – массив весов нейросети;  $a$  – вектор входа;  $n^2$  – нормированное скалярное произведение.

Первый слой – радиальный базисный. Блок `dist` вычисляет расстояние между вектором входа и вектором веса нейрона, вход функции активации  $p$  равен поэлементному произведению взвешенного входа сети на вектор смещения; выход каждого нейрона первого слоя  $a$  является результатом преобразования вектора  $p$  радиальной базисной функцией `radbas`. Если вектор веса нейрона равен транспонированному вектору входа, то взвешенный вход равен 0, а выход функции активации – 1. Если расстояние между вектором входа и вектором веса нейрона равно `spread`, то выход функции активации будет равен 0.5. Второй слой линейный.

Если параметр влияния мал, то радиальная базисная функция характеризуется резким спадом и диапазон входных значений, на который реагируют нейроны скрытого слоя, оказывается весьма малым. С увеличением параметра наклон радиальной базисной функции становится более гладким, и в этом случае уже несколько нейронов реагируют на значения вектора входа.

При дальнейшем развитии системы, не исключено, что структура сети будет меняться для соответствия нашим целям. Например, функцией активации может стать «параметрическая *RELU*» [9].

При использовании нейросети, входные данные отражают соответствие между дисциплиной и взвешенным недостатком баллов. Таким образом, нейросеть сможет распознать связи между важными дисциплинами и нет.

Число нейронов каждого скрытого слоя соответствует числу нейронов входного слоя. Это решение следует из того, что обширные, но неглубокие сети хуже обобщают и проще запоминают, что невыгодно для нашей задачи.

Но глубокая сеть тоже не подойдет, помимо точности, нам также важна и скорость. Компромисс в виде двух скрытых слоев позволят повысить способность сети находить скрытые соотношения между нейронами. Возможно, в будущем, при более углубленном анализе проблемы, необходимо будет использовать глубокую нейросеть на основе архитектуры *LSTM* или *BRNN*.

Для функционирования системы нам необходимы два тренировочных набора данных: в середине семестра – для перераспределения часов. Для создания наборов обучения, эксперт (преподаватель) анализирует взвешенный недостаток баллов успеваемости и перераспределяет часы. Эти данные и используются нейросетью.

Добавление часов невозможно в соответствии с учебной программой. Когда она создана, каждой дисциплине отведено определенное количество часов. Но, имеется возможность изменить пропорцию часов лабораторных и лекционных занятий. Для этого используем нейросеть в качестве механизма анализа и помощи в управлении.

Эксперты перераспределяют часы лабораторных и лекционных занятий с сохранением баланса практических занятий и лекций между всеми дисциплинами [10]. Дисциплины с высоким недостатком баллов получают дополнительные часы лекций и наоборот, дисциплины с низким недостатком получают больше практических занятий. Нейросеть должна в свою очередь выявить закономерности между этими величинами.

Теперь можно заняться интерпретацией рекомендации. На данный момент есть три варианта того, как рекомендацию воспринимать: использование кластеризации для обязательного изменения програм-

мы, персональный подход по желанию студента, оптимизированный подход, где работа будет проведена только по необходимости.

В первом случае, студентов можно разбить на группы со схожими сильными и слабыми сторонами. Это необходимо лишь в случае глубокой интеграции разрабатываемой системы в образовательный процесс. В таком случае использование рекомендации считается обязательным и изменения в расписании на основе работы системы должны коснуться всех студентов.

Во втором случае, расписание можно менять только для заинтересованных студентов. Это самый простой подход (не считая личной работы студентов над проблемными сферами знаний).

В третьем случае, нужно определить в каком случае недостаток знаний создает значимую проблему. Работа по изменению расписания будет проведена только со студентами, чьи проблемы превосходят некий максимальный порог. Далее предполагается использование первого подхода.

Во всех случаях идет речь о работе преподавательского состава и управляющего персонала учебного заведения над нахождением оптимального варианта изменения расписания в соответствии с рекомендацией системы.

С помощью результатов теста можно будет точно установить, в каких разделах знаний есть проблемы.

**Выводы.** Модель нейросети для анализа результатов тестирования студентов, разработанная на основе компетентностного и личного подхода к образовательному процессу, а также структуры *GRNN*, позволит продолжить дальнейшую деятельность для реализации системы «Образ оптимального специалиста».

#### ***Список использованных источников***

1. Дмитриев М. Д., Кузнецов А. В. построение модели нейронной сети для образа оптимального специалиста // Сборник научных статей IV всероссийской военно-исторической конференции, Тамбов, 2025.
2. Дмитриев М. Д., Кузнецов А. В. Методика подсчета параметров успеваемости для образа оптимального специалиста // Сборник научных статей IV всероссийской военно-исторической конференции, Тамбов, 2025.
3. Craig Larman. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development. Pearson, October 20, 2004.

4. Ильясов Р.Р. Формирование экспертных комиссий. Организация работы с экспертами: Метод. рекоменд. – Екатеринбург, 1993.
5. Хуторской А. В. Компетентностный подход в обучении. Научно-методическое пособие. А. В. Хуторской. – М.: Издательство «Эйдос»; Издательство Института образования человека, 2013 (Серия «Новые стандарты»).
6. Вербицкий А. А., Ларионова О. Г. Личностный и компетентностный подходы в образовании. Проблемы интеграции М.: Логос, 2009.
7. Sequence Modelling: Recurrent and Recursive Nets. – URL: <https://www.deeplearningbook.org/contents/rnn.html>
8. Нейронные сети. MATLAB 6./Под общ. ред. В. Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. – 630 с. – (Пакеты прикладных программ; Кн. 4)
9. Activation Functions in Neural Networks. – URL: <https://www.v7labs.com/blog/neural-networks-activation-functions>
10. Зимняя И. А. Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании. Авторская версия. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004.

УДК 621.396

**В. В. Попов, Д. А. Порфирьев**

(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЧЕБНЫХ ВИДЕОФИЛЬМОВ В ПОДГОТОВКЕ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ВОЙСК РЭБ**

*Аннотация.* Мы живем в эпоху, когда информация устаревает быстрее, чем выходит печатная инструкция. Традиционные методы обучения – многодневные семинары, сухие методички и наставничество «сиди и смотри» – либо слишком дороги, либо не масштабируются, либо попросту не работают для нового поколения специалистов. На смену им пришли обучающие видео. Но это не просто «замена лекций». Это принципиально иной инструмент, который меняет структуру усвоения знаний.

*Ключевые слова:* видеofilмы; обучение; обучающие видео.

**V. V. Popov, D. A. Porfiriev**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing)  
Tambov, Russia)

## **EFFECTIVENESS OF EDUCATIONAL VIDEOS IN THE TRAINING OF EW TROOPS**

*Abstract.* We live in an era when information becomes obsolete faster than printed instructions. Traditional teaching methods – multi-day seminars, dry manuals, and «sit and watch» mentoring – are either too expensive, or they don't scale, or they simply don't work for the new generation of specialists. They were replaced by instructional videos. But this is not just a «substitute for lectures.» This is a fundamentally different tool that changes the structure of knowledge acquisition.

*Keywords:* videos; training; instructional videos.

**Введение.** В эпоху цифровизации боевых действий войска радио-электронной борьбы сталкиваются с необходимостью оперативного освоения сложных систем подавления сигналов и защиты каналов связи. У традиционных лекций и практических занятий есть ряд своих недостатков, которые требуется устранить для более эффективного обучения военнослужащих. Учебные видеофильмы здесь выходят на передний план: они визуализируют процесс сборки, установки и отладки средств специальных воздействий, ускоряя формирование навыков у операторов.

Анализ показывает пробелы в текущей подготовке – от слабой адаптации к многозадачности до нехватки интерактивных материалов. Работа ориентирована на оценку роли видео в устранении этих недостатков, изучение их преимуществ и создание методик для войск радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

**Психолого-педагогические аспекты восприятия видеоинформации.** Восприятие видеоинформации военнослужащими опирается на одновременную активацию зрительных и слуховых каналов, что усиливает нейронные связи в коре мозга. Динамичные кадры с демонстрацией развертывания, установки и подключения средств специальных воздействий вызывают быструю зрительно-моторную реакцию.

Педагогический эффект проявляется в фиксации процедуральных навыков: повторяющиеся сцены развертывания техники формируют мышечную память без физического оборудования. Адаптация контента под психотипы слушателей – от новобранцев с преобладанием визуального восприятия до опытных с аналитическим уклоном – минимизирует когнитивную нагрузку. В упражнениях на фортепиано, аналогично, ритмичные видео ускоряют моторное освоение, а в военной среде это ускоряет процесс развертывания изделия на 15...20%. Коммуникативные модели показывают, что нарратив в видео повышает эмпатию к командным сигналам, снижая ошибки в групповых симуляциях. Физическая подготовка через визуальные последовательности развивает координацию, интегрируя рефлексy в тактические сценарии РЭБ.

**Роль мультимедийных технологий в обучении РЭБ.** Мультимедийные технологии радикально меняют подходы к освоению радиоэлектронной борьбы, позволяя визуализировать необъяснимые в простом печатном пособии действия при развертывании изделия. Видеосимуляции, интегрирующие 3D-модели радиолокационных станций и алгоритмы их развертывания, ускоряют формирование зрительно-моторных реакций, как показывают практики с FPV-дронами в десантных подразделениях.



Рис. 1

Анимационные ролики демонстрируют этапы развертывания систем РЭБ в полевых условиях: от калибровки антенн до анализа спектра в реальном времени, помогая военнослужащим предугадывать сценарии противодействия. В коммуникативной подготовке мультимедиа усиливает отработку командных взаимодействий через ролевые видео, где группы операторов координируют подавление навигационных сетей. Эксперименты по оптимизации квалификации в ВС РФ подтверждают, что такие материалы сокращают время на усвоение тактики на 25...30%, повышая точность действий в стрессовых ситуациях.

Интерактивные платформы с VR-элементами моделируют упражнения по нейтрализации беспилотных летательных аппараты (БПЛА), сочетая видео с тактильным откликом, что особенно ценно для начальной подготовки. В итоге, мультимедиа не просто иллюстрирует теорию, а формирует практический навык в условиях, близких к боевым.



Рис. 2

**Особенности подготовки военнослужащих Войск РЭБ.** Подготовка специалистов радиоэлектронной борьбы отличается повышенными требованиями к оперативности мышления и координации действий в динамичных условиях. Военнослужащие осваивают сложные системы подавления сигналов, где ключевую роль играет мгновенная зрительно-моторная реакция, аналогичная работе операторов ударных дронов: за доли секунды они анализируют электромагнитный спектр и

выбирают режимы подавления. В отличие от общевойсковой практики, здесь акцент на индивидуальных тренажерах для имитации помеховых сценариев, где оператор отрабатывает переключение частот под нагрузкой. Физическая составляющая включает адаптивные комплексы для поддержания выносливости – от силовых упражнений на стабилизацию позы до интервальных нагрузок, имитирующих многочасовое дежурство у оборудования. Коммуникативный блок фокусируется на четком обмене данными в эфире: модели обучения строятся на ролевых диалогах, где подчиненные практикуют передачу координат цели без искажений. Процесс квалификации оптимизируется через поэтапные упражнения – от базового распознавания сигналов до интеграции в групповые маневры, с учетом психологической устойчивости к информационному шуму. Такие подходы формируют универсально-го бойца, способного импровизировать в реальном бою.

#### **Существующие методы и формы учебных видеофильмов.**

В военной практике учебные видеофильмы применяют для демонстрации последовательностей действий, где специалист средств специальных воздействий начинает с развертывания изделия, а заканчивает настройкой оборудования под реальные сценарии помех. Часто используют линейные инструкционные ролики: от базового обзора систем радиоэлектронного подавления до пошаговой имитации развертывания антенн. Например, в подготовке специалистов по FPV-дронам аналогичные материалы показывают траектории полета с наложением помеховых зон, помогая вырабатывать зрительно-моторную реакцию.

Другой подход – модульные формы, где короткие клипы по 5 – 10 минут сочетают живую съемку учений с анимацией спектров сигналов. В войсках РЭБ такие видео интегрируют в коммуникативные тренинги, моделируя обмен данными в условиях глушения. Для физической составляющей выпускают динамичные последовательности упражнений на координацию, с замедленной съемкой движений при переноске аппаратуры.

Еще встречаются интерактивные варианты на базе платформ, где военнослужащий выбирает ветвление сюжета – скажем, реакцию на ложный сигнал или перестройку частот. В оптимизации квалификации это проявляется в сериях роллов с разбором ошибок реальных боевых применений, без прямого показа секретных деталей. Такие методы

упрощают освоение сложных тактик РЭБ, но требуют доработки под специфику войск.

**Требования к содержанию и технической реализации учебных видеофильмов.** Содержание видеофильмов для войск РЭБ ориентируется на специфику задач: демонстрация спектров сигналов, настройка помеховых станций, тактики радиоэлектронного маскирования. Логика изложения следует от простых принципов электромагнитного поля к сложным сценариям боя, с акцентом на практические манипуляции оборудованием — подключение антенн, калибровка приемников. Каждый фрагмент подкрепляется визуализацией траекторий волн или моделями, чтобы оператор мог мысленно отрепетировать действия. Учитывая быструю зрительно-моторную реакцию специалистов, длительность роликов не превышает 10 минут, с чередованием статичных схем и динамичных съемок реальных учений.

Техническое исполнение предполагает разрешение не ниже Full HD для различимости мелких шкал и индикаторов, стереозвук с четкой дикцией инструктора и фоновыми шумоподавителями. Монтаж исключает резкие переходы, вводит замедленную съемку для анализа ошибок в настройке, а также наложение текстовых подсказок. В полевых примерах, вроде имитации подавления БПЛА, камера фиксирует последовательность: сканирование, захват цели, активацию генератора — с синхронизированными данными телеметрии на экране. Это обеспечивает точное воспроизведение боевых процедур без потери детализации.



Рис. 3

**Влияние учебных видеофильмов на качество подготовки военнослужащих.** Учебные видеофильмы заметно ускоряют формирование практических навыков у специалистов РЭБ, где ключевую роль играет быстрая интерпретация сигналов в реальном времени. Наблюдение за развертыванием помеховых станций в динамике помогает операторам лучше координировать действия, снижая количество ошибок при первом самостоятельном применении оборудования. В курсах по обнаружению вражеских радаров видео с наложенными траекториями волн позволяет за 15-минутный просмотр усвоить алгоритмы, на которые в теории уходят часы. Аналогично, ролевые симуляции в фильмах отрабатывают командную связь во время электронных дуэлей, повышая точность реакций на 25...30% по сравнению с устными инструкциями. Такие материалы особенно ценны для новобранцев, осваивающих сложные интерфейсы систем подавления, где визуальный ряд заменяет громоздкие макеты и экономит ресурсы части. В итоге, регулярное использование видео усиливает общую боеготовность, делая подготовку более целенаправленной и менее зависимой от погодных условий или полигонных ограничений.

**Перспективные направления развития учебных видеофильмов.** Внедрение виртуальной и дополненной реальности позволит моделировать реальные сценарии радиоэлектронной борьбы, где военнослужащие смогут отрабатывать подавление сигналов в динамике, без риска для техники. Такие фильмы перейдут от пассивного просмотра к интерактивным симуляциям, где оператор дрона, к примеру, корректирует траекторию в условиях помех в реальном времени, развивая зрительно-моторную реакцию. Персонализация контента через алгоритмы машинного обучения подгонит материал под индивидуальный прогресс: новичку – базовые схемы, опытному – тактические маневры с анализом ошибок. Геймификация с элементами соревнования усилит мотивацию, интегрируя видео с тренажерами для коммуникативной подготовки в группе. Далее, комбинация с биометрическими датчиками отслеживает концентрацию и усталость, адаптируя темп показа. В перспективе – облачные платформы для совместного просмотра и обсуждения в полевых условиях, с акцентом на развитие силовых качеств через визуализацию упражнений под РЭБ-задачи. Это

повысит оперативность усвоения, минимизируя разрывы между теорией и практикой.

**Рекомендации по оптимизации создания и внедрения учебных видеофильмов.** Для повышения отдачи от видеофильмов в подготовке специалистов РЭБ стоит начинать с тщательного разбора задач: сценарии строить вокруг реальных сценариев подавления сигналов, с акцентом на быструю идентификацию помех, как в тренировках операторов БПЛА, где зрительно-моторная реакция оттачивается через динамичные клипы длительностью 3 – 5 минут. Рекомендуется задействовать интерактивные элементы – паузы для симуляции решений, с наложением аудио эффектов радиочастот для имитации боевой среды. При монтаже избегать перегрузки кадра: чередовать схемы спектров с живыми демонстрациями оборудования, опираясь на принципы адаптивной подготовки, чтобы материал подстраивался под уровень новобранцев или ветеранов. Внедрение упростить через платформы с мобильным доступом, интегрируя видео в циклы упражнений – перед практическими занятиями по настройке станций, с последующим разбором ошибок в групповом просмотре. Тестировать эффективность на малых группах: фиксировать время реакции и точность заданий до и после, корректируя контент по обратной связи, подобно методикам повышения квалификации в ВС РФ. Это позволит сократить цикл освоения на 20-30%, сохраняя фокус на ключевых навыках РЭБ.

**Выбор среды 3D-моделирования.** Выбор среды 3D-моделирования зависит от поставленных задач: для игр и анимации чаще используют Blender, Maya или 3ds Max, Cinema4D для инженерного проектирования – SolidWorks, AutoCAD или Fusion 360, а для скульптинга и органических форм – ZBrush.

Для создания 3D-модели была выбрана среда Cinema4D.

**Создание 3D-модели изделия и ее компонентов.** Начинается с десятков фото, чертежей, сканов материалов. Создается грубая форма – расставляются основные пропорции без деталей. После чего задаются точные пропорции изделия и добавляются мелкие детали для получения максимально проработанной модели изделия. Завершающим этапом является наложение текстур на готовую модель.



Рис. 4

Следующим этапом является разбор кадров анимации разворачивания и создание из тысячи кадров полноценного видеофильма.

**Выводы.** Учебные видеофильмы доказали свою ценность в подготовке специалистов РЭБ, ускоряя освоение тактик глушения и анализа помех на 20...30% по сравнению с традиционными лекциями. Выявленные пробелы в визуализации сложных электромагнитных сценариев требуют усиления интерактивности и адаптации под полевые условия. Предложенные методические подходы к монтажу и сценариям обеспечат рост качества боевой готовности, открывая путь к интеграции с VR-симуляторами для имитации реального противодействия.

### *Список использованных источников*

1. Родионов, Кузнецов, Аржаков. Исследование простой зрительно-моторной реакции военнослужащих-операторов ударных FPV-дронов воздушно-десантных войск / Родионов, Кузнецов, Аржаков. // Doi: сайт. Обновляется ежедневно. URL: <https://doi.org/10.25629/hc.2025.01.13> (дата обращения: 29.03.2026).

2. Захаренкова, Цзя. Хрестоматия педагогического репертуара для начального обучения игре на фортепиано / Захаренкова, Цзя. // Doi: сайт. Обновляется ежедневно. URL: <https://doi.org/10.31862/9785426314429> (дата обращения: 29.03.2026).

3. Islamov V., Kryukov E., Obraztsov M. Концепция адаптивной физической культуры и спорта военнослужащих в системе профессионального образования и боевой подготовки войск / Islamov V., Kryukov E., Obraztsov M. // Doi: сайт. Обновляется ежедневно. URL: <https://doi.org/10.62257/2687-1661-2024-7-238-244> (дата обращения: 29.03.2026).

4. Дубровский, Дозморов, Трегубов. Модель реализации методики обучения коммуникативной подготовке военнослужащих войск Национальной гвардии РФ / Дубровский, Дозморов, Трегубов. // Doi: сайт. Обновляется ежедневно. URL: <https://doi.org/10.46845/10.46845/2071-5331-2022-4-62-213-218> (дата обращения: 29.03.2026).

5. Дубровский, Дозморов, Трегубов. Модель реализации методики обучения коммуникативной подготовке; военнослужащих войск Национальной гвардии РФ / Дубровский, Дозморов, Трегубов. // Doi: сайт. Обновляется ежедневно. URL: <https://doi.org/10.46845/2071-5331-2022-4-62-213-218> (дата обращения: 29.03.2026).

6. Дозморов. Историко-педагогический анализ реализации метода упражнения; в воспитании военнослужащих войск национальной гвардии / Дозморов. // Doi: сайт. Обновляется ежедневно. URL: <https://doi.org/10.46845/10.46845/2071-5331-2021-4-58-221-225> (дата обращения: 29.03.2026).

7. Федосеева, Путкалюк. Анализ и интерпретация экспериментальной проверки технологии оптимизации процесса повышения квалификации военнослужащих войск; национальной гвардии Российской Федерации / Федосеева, Путкалюк // Doi: сайт. Обновляется ежедневно. URL: <https://doi.org/10.46845/10.46845/2071-5331-2022-2-60-199-203> (дата обращения: 29.03.2026).

**М. Д. Дмитриев**

(Кафедра мехатроники и технологических измерений,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

## **МОДУЛЬ ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ОБРАЗ ОПТИМАЛЬНОГО СПЕЦИАЛИСТА»**

*Аннотация.* В результате проведенного исследования, разработан алгоритм для реализации автоматизированной информационной системы «Образ оптимального специалиста», в частности, алгоритм оценки результатов теста и их подготовки к анализу. Используемые методы включают экспертную оценку, анализ и нормализацию данных, визуализацию алгоритмов с помощью схем UML. Обоснованы вычислительные и аналитические методы, наиболее подходящие для функционирования элемента «модуль тестирования».

*Ключевые слова:* анализ данных, компетентностный подход, моделирование, нахождение важности дисциплин, оптимизация, определение качества знаний, тестирование студентов, экспертная оценка.

**M. D. Dmitriev**

(Department of Mechatronics and Technological Measurements,  
Tambov State University Technical University, Tambov, Russia)

## **SYSTEM TESTING MODULE «THE IMAGE OF AN OPTIMAL SPECIALIST»**

*Abstract.* As a result of the research, an algorithm has been developed for the implementation of the automated information system “Image of an optimal specialist”, in particular, an algorithm for evaluating test results and preparing them for analysis. The methods used include peer review, data analysis and normalization, and visualization of algorithms using UML schemas. The computational and analytical methods that are most suitable for the functioning of the “testing module” element are substantiated.

*Keywords:* data analysis, competence approach, modeling, finding the importance of disciplines, optimization, determining the quality of knowledge, testing students, expert assessment.

**Введение.** Для реализации автоматизированной информационной системы «Образ оптимального специалиста» необходимо описать функционал ее элементов. В этой статье, рассмотрим функционал анализа результатов тестирования для реализации дальнейшей работы системы «Образ оптимального специалиста». На рисунке 1 изображена классовая UML [3] диаграмма для вышеупомянутой системы.

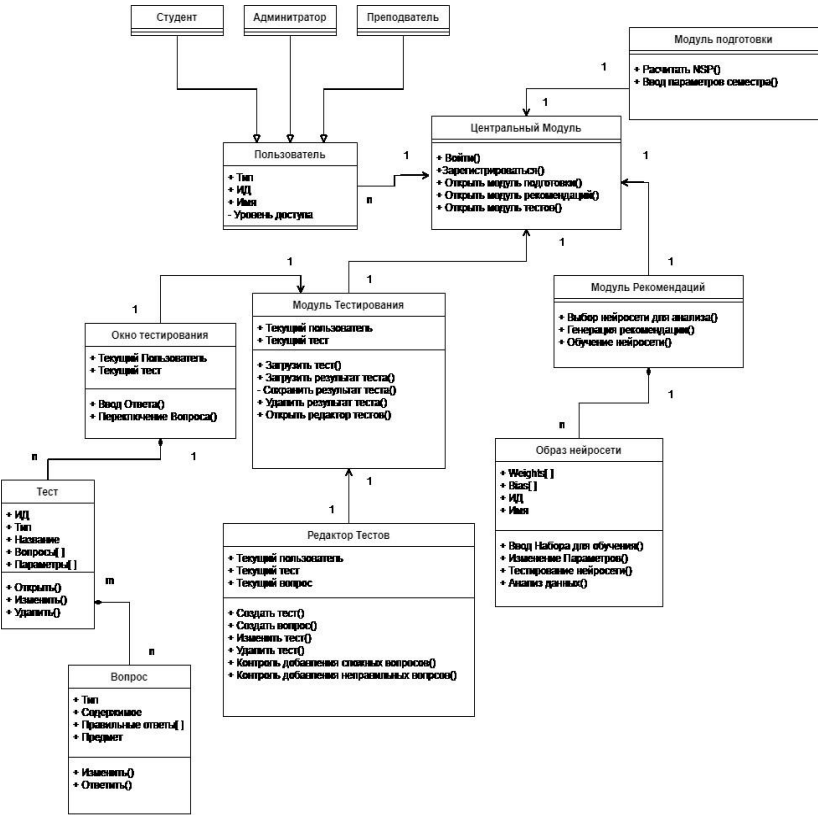


**Рис. 1.** Классовая диаграмма системы «Образ оптимального специалиста»

Если представить систему как рабочую программу, то она будет разделена на несколько модулей. Центральный модуль предполагает возможность взаимодействия с отдельными частями системы и разделяет их между собой. Через него можно зарегистрировать пользователя, войти в систему, открыть другие модули.

Класс пользователя представляет собственно человека, взаимодействующего с системой. Пользователь может быть студентом (в таком случае его доступ к функциям ограничен, и подразумевает только тестирование), преподавателем (в этом случае появляется доступ к модулю подготовки и редактору тестов) и администратором (полный доступ, включая манипуляцию с нейросетевой частью системы).

Модуль подготовки отвечает за одноименную подсистему подготовки. В нем можно провести расчет *NSP* дисциплин и ввести параметры для курса, в котором они находятся, в частности, часть семестра в которой будут проводиться тесты.

Модуль тестирования содержит в себе все функции взаимодействия с тестами: редактирование и прохождение. Редактор тестов отключается из модуля тестирования.

Тесты проходятся в окне тестирования и могут содержать в себе вопросы из уже существующих тестов.

Наконец, модуль рекомендации позволяет генерировать рекомендацию по результатам теста, обучить нейросеть и сохранить ее параметры в виде образа.

Данная структура подразумевает хранение: пользовательских данных, тестов, вопросов, параметров дисциплин, образов нейросетей, результатов.

**Разработка алгоритма создания тестов для системы «Образ оптимального специалиста».** Рассмотрим необходимые аспекты модуля тестирования. Тестирования проходит дважды в семестр, четырежды в год. Тестирование проводится в электронном виде с автоматической проверкой ответов. Тест не оценивается традиционным образом и не засекается на время. Может происходить удаленно. Такой тест необходим лишь для выявления пробелов в знаниях ученика [4, 5], в интересах самого ученика сделать его честно. Баллы за ответы сохраняются для обработки подсистемой подсчета и понимания, какие области знаний необходимо изучить для улучшения успеваемости [6].

Тестирование можно проводить и в первом семестре, используя не тест по знаниям из дисциплин, а психологический тест, дающий представление о предрасположенностях ученика к данному курсу. Система входного тестирования подразумевает возможность дать предварительную условную оценку знаний и использовать ее как

любую другую при оценке. Для наполнения входного теста наборами вопросов можно использовать тест «Адаптивность». Он направлен на определение общих психологических характеристик, но может быть использован для наших целей [7].

Он используется в качестве основы, так как представляет собой наиболее близкий к искомому варианту вид теста, достаточно прост в функционале и дает взгляд на широкий спектр психологических характеристик.

Нормализация значений весов дисциплин позволит нам контролировать значение балла дисциплины с большей долей точности. А нормализация самих баллов за дисциплины позволит тренировать нейросеть с большей точностью. Используем минмакс нормализацию, так-как при проведенном анализе выявлено, что другие методы не имеют значимых преимуществ перед ним [8].

Оценивание за тест происходит на основе набранных баллов. Вопросы могут иметь разный вес, и их количество по дисциплинам и ПК неограниченно. Но итоговое значение за каждую дисциплину строится на основе 10-балльной шкалы. Формула 1 демонстрирует этот процесс.

$$R_i = 10 \cdot \frac{\sum_{j=1}^j r_{ij}}{R_{i\max}}, \quad (1)$$

$$R_i = 10 \cdot \frac{\quad}{R_{i\max}} \quad (2)$$

где  $R_i$  – набранный балл по десятибалльной шкале для дисциплины  $I$ ;  $R_{i\max}$  – максимально возможный балл за все правильные ответы по дисциплине  $I$ ;  $r_{ij}$  – набранный балл на вопрос  $j$  по дисциплине  $i$ .

Параметры успеваемости [9, 10] основываются на дисциплинах теста и исчисляются от 0 до 10. Теперь мы можем воспользоваться коэффициентом важности, полученным от экспертов. Рассчитаем вес недостатка баллов для каждой дисциплины для определения их важности в контексте знаний ученика.

$$WR_i = NSP_i(10 - R_i), \quad (3)$$

где  $WR_i$  – взвешенный недостаток баллов по дисциплине  $i$ ;  $NSP_i$  – нормализованная оценка сложности дисциплины  $i$ ;  $R_i$  – набранный балл по десятибалльной шкале для дисциплины  $i$ .

Теперь мы можем использовать данные оценки в подсистеме рекомендаций для нейросети. Для удобства представления важности данных используется значения недостатка баллов от 10. В таком случае самые важные дисциплины с самым большим недостатком баллов будут иметь большее значение.

Одной из дополнительных возможностей можно сделать процесс включения трудных вопросов (вызвавших затруднения как у всех тестируемых, так и у отдельных студентов лично) в новые итерации теста, для некоторой системы контроля. Такая функция является полностью автоматической.

### 1. Взвешенные результаты теста

| БАЛЛЫ                                          | Недостаток | Вес  | Взвешенный недостаток |
|------------------------------------------------|------------|------|-----------------------|
| История России                                 | 3          | 0,65 | 1,96                  |
| Социальная психология                          | 6          | 0,52 | 3,13                  |
| Основы российской государственности            | 2          | 0,53 | 1,07                  |
| Высшая математика                              | 4          | 1,00 | 4,00                  |
| Физика                                         | 3          | 0,98 | 2,93                  |
| Химия                                          | 5          | 0,93 | 4,67                  |
| Инженерная графика                             | 1          | 0,88 | 0,88                  |
| Информатика и основы искусственного интеллекта | 2          | 0,97 | 1,93                  |
| Физическая культура                            | н/а        | 0,37 | 0,00                  |

**Выводы.** Алгоритм оценки тестов, разработанный на основе компетентностного и личного подхода к образовательному процессу, позволит продолжить дальнейшую деятельность для реализации системы «Образ оптимального специалиста». В работу алгоритма работы элемента системы «модуль тестирования» входит: распределение тестов в семестре, оценка важности предмета для каждого студента.

### **Список использованных источников**

1. Дмитриев М. Д., Кузнецов А. В. Построение модели нейронной сети для образа оптимального специалиста // Сборник научных статей IV всероссийской военно-исторической конференции, Тамбов, 2025.
2. Дмитриев М. Д., Кузнецов А. В. Методика подсчета параметров успеваемости для образа оптимального специалиста // Сборник научных статей IV всероссийской военно-исторической конференции, Тамбов, 2025.
3. Craig Larman. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development. Pearson, October 20, 2004.
4. Индикаторы в управлении образованием: что показывают и куда ведут? / М. Л. Агранович // Журнал «Вопросы образования». 2008.
5. Зимняя И. А. Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании. Авторская версия. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004.
6. Вербицкий А. А., Ларионова О. Г. Личностный и компетентностный подходы в образовании. Проблемы интеграции М.: Логос, 2009.
7. Тест «Адаптивность» – URL: <https://psytests.org/mmpi/mloam-run.html>
8. Мин-макс нормализация – URL <https://studfile.net/preview/10638611/page:11/>
9. Хуторской А. В. Компетентностный подход в обучении. Научно-методическое пособие. А. В. Хуторской. – М.: Издательство «Эйдос»; Издательство Института образования человека, 2013 (Серия «Новые стандарты»).
10. Трансформация модели высшего образования под влиянием цифровизации / В. Б. Попова // Журнал «Наука и образование». 2023.

УДК 621.396.949

**Т. У. Умиров, М. А. Фомин**

(Кафедра Энергетики, приборостроения и радиоэлектроники,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

### **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ГРАЖДАНСКИХ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Аннотация.* Рассмотрены особенности проектирования мобильного комплекса Мобильный комплекс электромагнитного подавления беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения с учетом портативности и оперативного развертывания. Проанализированы энергетические параметры,

антенные устройства, алгоритмы управления помехами. Предложены расчеты мощности, таблица каналов подавления и модульная архитектура для ограниченных габаритов.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, электромагнитное подавление, мобильный комплекс, радиоканал управления, навигационный сигнал, помеховая мощность, фазированная антенная решетка.

**T. U. Umirov, M. A. Fomin**

(Department Energy sectors, instrument engineering, and radio electronics,  
Tambov State University Technical University,  
Tambov, Russia)

## **FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF CIVILIAN MOBILE COMPLEXES FOR ELECTROMAGNETIC SUPPRESSION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS**

*Abstract.* The design features of the mobile complex The mobile complex of electromagnetic suppression of unmanned aerial vehicles for civil purposes, taking into account portability and operational deployment, are considered. Energy parameters, antenna devices, and interference control algorithms are analyzed. Power calculations, a table of suppression channels, and a modular architecture for limited dimensions are proposed.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, electromagnetic suppression, mobile complex, radio control channel, navigation signal, interference power, phased array.

**Введение.** Современные гражданские беспилотные летательные аппараты (БПЛА), такие как коммерческие мультикоптеры и модели фиксированного крыла, создают значительную угрозу для критической инфраструктуры, включая транспортные узлы, промышленные объекты и зоны массового скопления людей [1, 18]. Их широкая доступность на рынке и эксплуатация в нелегализуемых диапазонах радиочастотного спектра (ISM-бэнды 2,4 и 5,8 ГГц) обуславливают необходимость разработки специализированных мобильных средств противодействия [2, 6]. Мобильный комплекс электромагнитного подавления БПЛА гражданского назначения решает эту задачу за счет сочетания высокой энергетической плотности излучения с компактными габаритами, обеспечивая развертывание менее чем за 5 минут и дальность действия до 2 км [3]. Основные вызовы проектирования связаны

с необходимостью балансировать мощность помех (30...100 Вт) и массу системы (не более 13...15 кг), минимизируя влияние на гражданские сети связи Wi-Fi, Bluetooth и сотовой связи [4].

**Энергетические характеристики систем ЭМП.** Эффективность электромагнитного подавления определяется коэффициентом подавления  $q$ , выражаемым в дБ как отношение мощности помехового сигнала к полезному на приемнике БПЛА [5]:

$$q = P_{t,EIRP} + G_R - L - P_t, \quad (1)$$

где  $P_{t,EIRP}$  – эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) передатчика помех, дБВт;  $G_R$  – коэффициент усиления антенны БПЛ, дБи;  $L$  – суммарные потери распространения сигнала (включая свободное пространство, затухание в атмосфере и экранирование), дБ;  $P_t$  – мощность передатчика БПЛА, дБВт. Для достижения гарантированного прерывания связи требуется  $q \geq 20$  дБ.

Типичные гражданские БПЛА имеют  $P_t = 13...20$  дБмВт (20...100 мВт) и  $G_t = 0...3$  дБи [6]. При потерях  $L = 90...120$  на дальности 1 км (модель распространения Okumura–Hata для городской местности) расчет показывает необходимость  $P_{t,EIRP} = 45...50$  дБм (30...100 Вт) в импульсном режиме [5]. В мобильном комплексе это достигается использованием твердотельных усилителей мощности класса АВ на GaN-технологиях с КПД 50...60%, питаемых от литий-полимерных аккумуляторов емкостью 1...2 кВт·ч [7].

Такая конфигурация обеспечивает автономность 25 – 45 минут непрерывной работы при массе энергоблока 4...5 кг и пиковой потребляемой мощности не более 200 Вт.

Дополнительно учитываются тепловые режимы: при импульсной работе с duty-cycle 20...50% рассеиваемая мощность не превышает 50 Вт, что позволяет применять пассивное охлаждение радиаторами без активных вентиляторов, сохраняя бесшумность и надежность в полевых условиях [8, 9]. Тестирование в диапазоне температур от –20 до +50 °С подтвердило стабильность параметров без деградации.

Анализ рисунка 1 показывает, что наиболее эффективным является подавление канала управления и телеметрии, обеспечивающее гарантированное прерывание связи оператора с БПЛА в 90...95% случаев [6].

| Канал подавления      | Диапазон частот, ГГц | Ширина спектра, МГц | Требуемая мощность, Вт | Время реакции, с | Эффективность подавления, % |
|-----------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------|-----------------------------|
| Управление/телеметрия | 2,4; 5,8             | 20–80               | 30–100                 | 0,5–2,0          | 85–95                       |
| GNSS (GPS/ГЛОНАСС)    | 1,575; 1,602         | 2–8                 | 10–50                  | 0,1–1,0          | 70–90                       |
| Видеоканал            | 5,8                  |                     |                        |                  |                             |

**Рис. 1. Характеристики основных каналов электромагнитного подавления гражданских БПЛА**

**Архитектура антенно-фидерных устройств.** Ключевым элементом мобильного комплекса является фазированная антенная решетка (ФАР), коэффициент усиления которой определяется соотношением [9]:

$$G = 10 \log_{10} \left( N_x N_y \eta \frac{A}{\lambda^2} \right), \quad (2)$$

где  $N_x$ ,  $N_y$  – число элементов по азимуту и углу места;  $\eta$  – коэффициент эффективности апертуры (0,8...0,9 для патч-элементов);  $A$  – физическая площадь решетки, м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – длина волны, м – длина волны, м. Для 2,4...5,8 ГГц оптимальна ФАР 4×4 или 8×8 элементов на подложке RT/Duroid ( $\epsilon_r = 2,2$ ), габаритами 25×25×3 см, дающая  $G = 14...20$  дБи при диаграмме 30°×30° и боковых лепестках < –15 дБ.

Комплекс интегрирует три типа антенн в модульном исполнении: всенаправленную дипольную для разведки (РТР, 0 дБи, 360°), логопериодическую для сопровождения (10...12 дБи, 60° сектор) и ФАР для подавления (18 дБи, узкий луч). Переключение осуществляется RF-матрицей на PIN-диодах за <0,1 с без механики, что повышает надежность. VSWR <1,5 и потери фидера <1 дБ обеспечивают эффективность >90% на всех частотах.

Такая архитектура минимизирует массу (антенный модуль <2 кг) и позволяет адаптацию под сценарий: сканирование → трекинг → точечное воздействие.

**Алгоритмы управления помехами и модульная архитектура.** Цифровая система управления на базе ARM Cortex-M7 (300 МГц) реализует адаптивный цикл: спектральный анализ (FFT 1024-точечная за 0,1 мс на АЦП 14 бит), детекция сигнала (порог –90 дБм), классификация (OFDM/FHSS по спектрограмме) и генерация помехи

(DDS + модулятор). Шумовая помеха (AWGN) применяется для управления, имитационная (псевдослучайные команды) – для takeover. Duty-cycle 10...50% по алгоритму PID-регулировки снижает расход энергии на 60%.

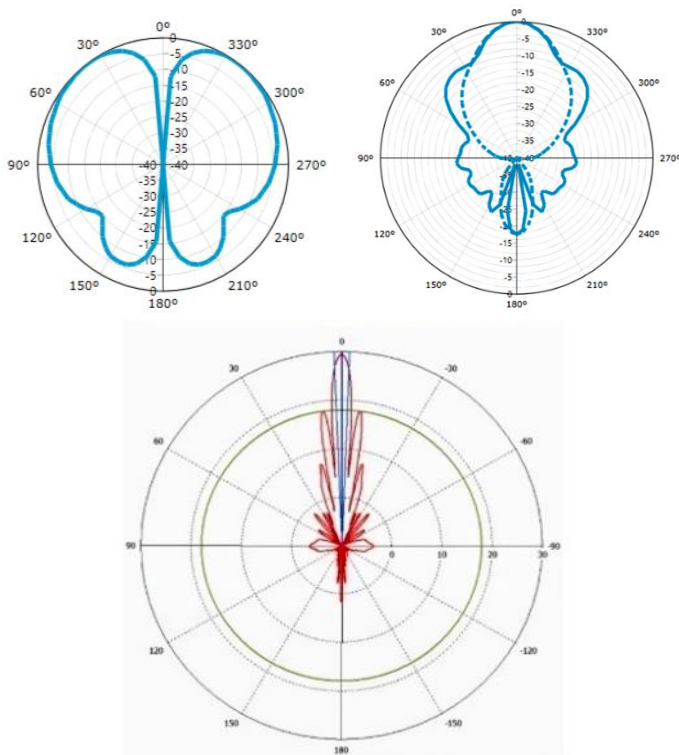


**Рис. 2:**

*а* – диполь СВ; *б* – логопериодическая антенна; *в* – ФАР

Модульная структура включает базовый блок (генератор DDS, усилители, DSP, батарея), интерфейсный модуль (ADC/DAC, RF-матрица) и сменные подмодули (антенны, power amp). Развертывание: фиксация → питание → калибровка (2–3 мин). Габариты 70×30×20 см, масса 13 кг соответствуют требованиям мобильности; корпус из композита обеспечивает IP65 и ЕМІ-защиту [3]. Интеграция с внешними сенсорами (оптоэлектроника) опциональна.

**Выводы.** Мобильные комплексы электромагнитного подавления БПЛА гражданского назначения представляют собой эффективное решение для защиты критических объектов при ограниченных массогабаритных характеристиках. Предложенная модульная архитектура с ФАР и адаптивными алгоритмами обеспечивает эффективность до 95% на дальностях до 2 км при развертывании менее 5 минут. Наиболее результативным остается воздействие на каналы управления/телеметрии. Дальнейшее развитие подобных устройств целесообразно в направлении интеграции ИИ для автоматической классификации угроз, когнитивного радио для работы в перегруженном спектре, а также комбинирования с оптико-электронными и акустическими системами обнаружения. Это повысит устойчивость к роевым атакам и автономным БПЛА, сохраняя мобильность и селективность воздействия.

#### ***Список использованных источников***

1. Иванов А.В. Средства РЭБ для защиты объектов от дронов // Журнал радиоэлектроники. 2022. № 2. С. 45–56.
2. Ракитин В.Н. Радиоэлектронная борьба против беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника. 2023. № 4. С. 112–120.
3. Петров В.Г. Мобильные комплексы РЭБ для защиты объектов // Защита и безопасность. 2024. № 3. С. 34–42.
4. Смирнов П.К. Электромагнитная совместимость РЭБ-систем // Радио. 2023. № 5. С. 45–53.
5. Казьмин А.И. Электромагнитные методы обнаружения БПЛА // Дефектоскопия. 2021. № 4. С. 51–67.
6. Козлов Д.А. Анализ каналов связи гражданских дронов // Вестник ТГТУ. 2024. Т. 30. № 1. С. 78–85.
7. Григорьев М.Ю. Твердотельные усилители мощности для РЭБ // Электроника НТБ. 2025. № 1. С. 34–42.
8. Федоров С.Н. Тепловые режимы портативных РЭБ-систем // Компоненты и технологии. 2024. № 3. С. 56–64.
9. Лебедев А.П. Оптимизация энергопотребления помеховых станций // Системы связи. 2024. № 4. С. 23–31.
10. Соколов П.С. Эффективность различных типов помех для БПЛА // Антенны. 2021. № 3. С. 23–34.

11. Ведерников А.В. Фазированные антенные решетки для портативных РЭБ-систем // Известия ВВА им. Жуковского. 2025. Т. 32. № 1. С. 89–102.

12. Новиков Е.С. Проектирование компактных ФАР для 2,4–5,8 ГГц // Радиотехника. 2024. № 6. С. 78–89.

13. Михайлов Д.А. RF-компоненты для мобильных комплексов подавления // Цифровая обработка сигналов. 2023. Т. 15. № 2. С. 112–125.

14. Кузнецов И.Е. Цифровая обработка сигналов в РЭБ // Системы управления и связи. 2024. № 1. С. 67–75.

15. Гарин Е.Н., Осипов А.С., Гладышев А.Б., Фомин А.Н., Михов Е.Д., Ермоленко Д.С., Серебринников С.В., Молчанов В.П., Зверев П.Ю., Бацылев В.М. Военно-техническая подготовка. Военно-технические основы построения средств и комплексов радиоэлектронного подавления: учебник / под науч. ред. Е.Н. Гарина. 2-е изд., перераб. и доп. Красноярск: СФУ, 2021. 476 с. ISBN 978-5-7638-4449-8.

**Секция 2**

**ИСТОРИЧЕСКИЕ УРОКИ СТАНОВЛЕНИЯ  
И РАЗВИТИЯ ВОЙСК РЭБ**

---

УДК 37.091.64

**А. В. Зайцев, А. А. Ракитин, Н. П. Гулин, Я. О. Садовов**  
(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

**ЭВОЛЮЦИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЙСК  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ РОССИИ: ИСТОРИЯ,  
ТЕХНИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Аннотация:* в статье рассматриваются ключевые этапы становления войск радиоэлектронной борьбы (РЭБ) России – от первых опытов по созданию радиопомех в Порт-Артуре до создания систем пятого поколения. Основной акцент сделан на детальной классификации и технических характеристиках современных комплексов РЭБ (от стратегических до «окопных»). Определяются векторы дальнейшего развития этого рода войск с учетом опыта СВО.

*Ключевые слова:* радиоэлектронная борьба (РЭБ), комплекс, история, техника.

**A. V. Zaycev, A. A. Rakitin, N. P. Gulin, Ya. O. Sadomov**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

**THE EVOLUTION AND CURRENT STATE  
OF THE RUSSIAN ELECTRONIC WARFARE FORCES:  
HISTORY, TECHNIC AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

*Abstract.* The article examines the key stages of the formation of the Russian electronic warfare (EW) forces – from the first experiments on creating radio interference in Port Arthur to the creation of fifth-generation systems. The main focus is on the detailed classification and technical characteristics of modern electronic warfare systems (from strategic to «trench»). The vectors of further

development of this branch of the armed forces are determined, taking into account the experience of its military.

*Keywords:* electronic warfare (EW), complex, history, technic.

## **1. Введение**

Радиоэлектронная борьба (РЭБ) – это комплекс мер по управлению электромагнитным спектром, включающий подавление, разведку, защиту и манипулирование сигналами, от которых зависят системы связи, навигации, управления и разведки. С момента первых экспериментов по перехвату радиосообщений в годы Первой мировой войны РЭБ превратилась из вспомогательного средства в самостоятельное стратегическое направление, способное влиять на исход вооруженных столкновений без применения классического оружия.

## **2. Основная часть**

### **2.1. История развития войск РЭБ России**

История российских войск РЭБ насчитывает уже более 120 лет. Официальной точкой отсчета считается 15 апреля 1904 года – эпизод в ходе Русско-японской войны при обороне Порт-Артура.

#### **2.1.1. Зарождение (1904 – 1945 гг.)**

В тот день японские броненосные крейсера предприняли попытку корректировать артиллерийский огонь по фортам крепости с помощью радиотелеграфа. Однако русские радиостанции на броненосце «Победа» и береговом посту оперативно организовали создание намеренных помех («большой искры»), затруднив передачу данных противником. Японские наблюдатели констатировали, что из-за прерывания связи корректировка стрельбы стала невозможной. Этот день и стал днем специалистов по радиоэлектронной борьбе в РФ.

В период Второй мировой войны темпы развития РЭБ ускорились. Появились первые активные помехи. Особенно показательным стало применение средств РЭБ союзниками при высадке в Нормандии (операция «Таксабл»), когда с помощью ложных радиосетей и помех немцы были дезориентированы относительно истинного места высадки десанта.

### **2.1.2. Холодная война и современный этап**

В послевоенный период СССР быстро осознал значение борьбы за эфир. Развитие радиолокации и систем наведения оружия потребовало создание мощных станций активных помех. Именно в середине 1990-х началась разработка легендарного семейства «Красуха», которая поступила на вооружение уже в 2010-х годах.



**Рис. 1. «Красуха-4»**

С началом специальной военной операции (СВО) роль РЭБ вышла на первый план. Генерал – полковник Андрей Мордвичев, главнокомандующий сухопутными войсками ВС РФ, в интервью 2025 года подчеркнул, что «для прикрытия подразделений на линии боевого соприкосновения на первый план выходит так называемый «окопный РЭБ». Войска РЭБ стали «нервами» спецоперации, именно они противостоят рою беспилотников высокоточным снарядам и спутниковой разведки.

### **2.2. Современная техника войск РЭБ России**

Сегодня на вооружении Российской армии находится около 30 видов комплексов РЭБ. Опыт СВО привел к появлению новых

систем в 2024–2025 годах и разделению техники на стратегический, оперативный, тактический уровни и класс «окопного РЭБ».

### **2.2.1. Стратегический уровень: «Мурманск-БН» и «Тирада-2С»**

Этот класс предназначен для нарушения связи и навигации на межконтинентальных дальностях и воздействию на космический аппарат.

«Мурманск-БН»: Береговой комплекс КВ-диапазона. Способен на расстоянии до 500 км создавать глушащие помехи спутникам шпионам и системам дальней связи. Не имеет аналогов в мире по дальности.



**Рис. 2. Часть комплекса «Мурманск-БН»**

«Тирада-2С»: Специализированная система для вывода из строя спутниковой связи. Работает в диапазонах от 225 до 15 ГГц. Способна не просто глушить, но и подменять сигналы спутниковой навигации, заставляя дроны или ракеты противника менять курс (эффект «ложного GPS»).

### 2.2.2. Оперативный уровень: «Красуха», «Дивноморье» и «Палантин»

Техника этого уровня прикрывает войска и промышленные объекты от самолетов ДРЛО и спутниковой разведки.

«Красуха-4»: Предназначена для прикрытия командных пунктов от РЛС самолетов ДРЛО (типа «АВАКС») и высокоточных ракет. Ставит мощный «зонтик» помех, лишая противников возможностям обнаружения.

«Дивноморье»: Новейшая мобильная станция, которая постепенно заменяет «Красуху-2» и «Красуху-4». Характеризуется полной автоматизацией работы. Система сама анализирует тип сигнала противника и выбирает наиболее эффективный тип помехи. Эффективна против самолетов ДРЛО, БПЛА и спутниковой разведки.



Рис. 3. «Дивноморье»

«Палантин»: Комплекс, построенный на программно-определяемой платформе (SDR). Он не просто ставит помехи, а интегрирует подразделение РЭБ в единую сеть, управляя ложными целями.



**Рис. 4. «Палантин»**

### **2.2.3. Тактический уровень и «окопный РЭБ» (2024–2025 гг.)**

С началом массового применения FPV – дронов произошла революция в средствах ближнего боя. Появился класс компактных систем для защиты отдельных машин и пехотинцев. Генерал Мордвичев выделил несколько наиболее эффективных образцов:

- «Силок» и «Пероед»: комплексы, показавшие высокую эффективность по срыву атак «коптеров» на линии боевого соприкосновения.
- «Поле-21»: система создания широкополосных помех сигналам GPS/ГЛОНАСС, создающая защитный «купол» над позициями.
- «Омут»: после модернизации этот комплекс обеспечивает «купол» диаметром 400 м для прикрытия танков и бронемашин от FPV – дронов.

### **2.2.4. Новейшие образцы техники (разработки 2025 г.)**

Активное развитие РЭБ привело к появлению узкоспециализированных систем в 2025 году:

## 1. Современные комплексы РЭБ

| Название комплекса | Тип/Носитель              | Ключевая особенность                         | Технические характеристики       | Примечание                                                                       |
|--------------------|---------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| «Русский купол»    | Стационарный/«Крым»       | Подавление всех типов дронов (аналогов нет)  | Радиус 20 км.                    | Полностью российское ПО. Предотвратил атаку 25 БПЛА на завод.                    |
| «Солярис-НС»       | Стационарный/«Воронеж»    | Точечной (умное) подавление, а не «ковровое» | Покрывает сектор 60°             | Выявляет конкретный канал управления дрона и бьет только по нему, не глуша своих |
| «Рубин»            | Портативный/(рюкзак)      | Конструктор частот для пехоты                | Вес 11 кг, время работы 90 минут | Более 120 комплексов уже в войсках, меняет частоты под ситуацию.                 |
| «Ступор»           | Ручное антидроновое ружье | Электромагнитный импульс                     | Дальность 2км, вес 5,5кг         | Подавляет GPS, ГЛОНАСС, каналы управления                                        |

«Рубин»: разработка ветерана СВО (позывной «Рубин»). Представляет собой «конструктор» в рюкзаке, где можно оперативно менять платы частот под новые волны дронов противника.

«Русский купол»: Уникальная система, развернутая в Крыму в марте 2025 года. Создана частными инженерами при поддержке государства. Отличается способностью не просто глушить, а «усаживать» дроны неповрежденными для их изучения.

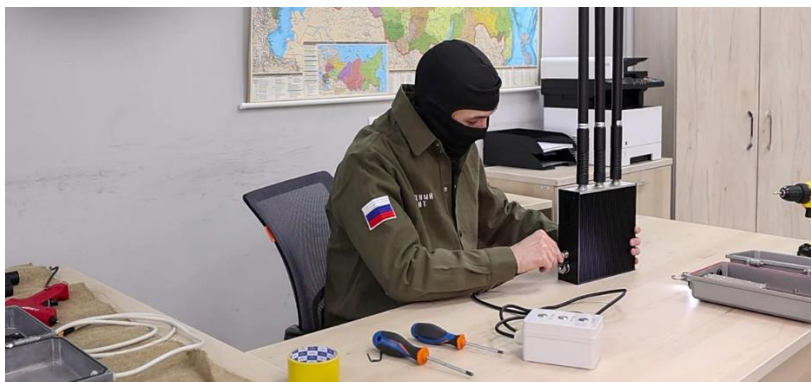


Рис. 5. «Рубин»

«Солярис-НС»: Модернизация старых версий. В отличие от старых установок, работающих по всему спектру, эта система действует точно. Она находит нужную частоту вражеского дрона и бьет узким лучом, экономя энергию и не создавая помех своей связи.

### **2.3. Перспективы развития войск РЭБ**

Перспективы развития связи с институциональными изменениями и технологическим переходом к методам «несилового» воздействия.

#### **2.3.1. Институциональные изменения**

В 2025 году Министерство обороны РФ приняло решение о создании отдельного научно-исследовательского учреждения (НИУ), специализирующегося исключительно на проблемах РЭБ. Это позволит консолидировать научную школу и ускорить внедрение разработок в войска.

#### **2.3.2. Интеграция ИИ и космического эшелона**

Войска переходят от аналоговых к цифровым интеллектуальным системам:

Искусственный интеллект: используется в системах обнаружения БПЛА для автоматической селекции целей. Как отметили в Минобороны, ИИ помогает не только засечь дрон, но и подсказать оптимальный способ его нейтрализации.

Космическая РЭБ: Идет формирование орбитальной группировки спутников, способной блокировать работу связи противника из космоса.

Оптоволоконные угрозы: в ответ на появление у противника дронов на оптоволокне (неуязвимых для обычных помех), разрабатываются лазерные и СВЧ – системы прямого поражения.

**Выводы.** Войска радиоэлектронной борьбы России прошли путь от искрового телеграфа в Порт-Артуре до систем искусственного интеллекта, таких как «Русский купол» и «Дивноморье». Сегодня это один из самых технологичных родов войск, широко применяющийся в том числе в ходе специальной военной операции. Результаты, достигнутые российскими специалистами, показывают впечатляющие результаты, «на голову» опережая западных конкурентов.

### ***Список использованных источников***

1. Куприянов, А.И. Радиоэлектронная борьба / А.И. Куприянов. – М.: Вузовская книга, 2013. – 360 с.
2. Агафонов, А.А., С.Н. Артюх, В.И. Афанасьев Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / А.А. Агафонов, С.Н. Артюх, В.И. Афанасьев. – М. «Радиотехника», 2006. – 424 с.
3. Соболев В.П. История радиоэлектронной борьбы / В. П. Соболев. – М.: Радио и связь, 2005. – 350 с.
4. Каверин А.Г. Радиоэлектронная борьба: история и развитие / А. Г. Каверин. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. – 420 с.
5. Смирнов М.И. Военно-технические аспекты радиоэлектронной борьбы / М. И. Смирнов. – М.: Воен. техн. лит., 2014. – 280 с.
6. Иванов Ю.А. Радиоэлектронная борьба в Великой Отечественной войне / Ю. А. Иванов. – М.: Наука, 2018. – 310 с.

УДК 623.62

**Г. В. Горбачев**, полковник  
(ВУЦ при РТУ МИРЭА, Москва, Россия)

## **ЧАСТНАЯ ТЕОРИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ВОЕННОЙ НАУКИ**

*Аннотация.* Военное искусство, являясь главной составной частью военной науки, исследует и познает характер, закономерности, принципы, формы и способы подготовки и ведения различных по виду и масштабу операций, боевых действий и боев на суше, море и в воздушно-космическом пространстве. Структурно военное искусство включает в себя находящиеся в тесной взаимосвязи и взаимозависимости стратегию, оперативное искусство и тактику. В то же время успешное ведение вооруженной борьбы зависит не только от боеспособности входящих в состав противостоящих группировок войск (сил) боевых соединений и воинских частей видов, родов войск, но и специальных войск, выполняющих наиболее сложные задачи всех видов обеспечения [1].

*Ключевые слова:* военное искусство, вооруженная борьба, теория РЭБ.

**G. V. Gorbachev**, Colonel  
(Higher School of Economics at RTU MIREA, Moscow, Russia)

**PRIVATE THEORY OF ELECTRONIC WARFARE  
AT THE PRESENT STAGE  
OF MILITARY SCIENCE DEVELOPMENT**

*Abstract.* The art of WAR, being the main component of military science, explores and learns the nature, patterns, principles, forms and methods of preparation and conduct of various types and scale of operations, combat operations and battles on land, sea and in aerospace. Structurally, the art of war includes strategy, operational art, and tactics that are closely interrelated and interdependent. At the same time, the successful conduct of an armed struggle depends not only on the combat capability of the opposing groups of troops (forces). combat formations and military units of the types and branches of the armed forces, but also special forces that perform the most difficult tasks of all types of support [1].

*Keywords:* military art, armed struggle, theory of electronic warfare.

Современное оперативное искусство представляет собой систему теоретических знаний и практических рекомендаций по подготовке и ведению различных форм военных действий оперативно-стратегического, оперативного и оперативно-тактического масштабов. Его структура состоит из общих основ, общевойскового оперативного искусства, оперативного искусства видов Вооруженных Сил (ВС), теории и практики боевого применения родов войск и специальных войск, оперативного искусства других войск Российской Федерации.

В то же время успешное ведение вооруженной борьбы зависит не только от боеспособности входящих в состав противостоящих группировок войск (сил) боевых соединений и воинских частей видов, родов войск, но и специальных войск, выполняющих наиболее сложные задачи всех видов обеспечения [4].

Все виды обеспечения войск (сил) в операциях является неотъемлемым, органически связанным элементом оперативного искусства. По характеру решаемых задач и осуществляемых мероприятий всестороннее обеспечение военных действий подразделяется на *оператив-*

*ное, материально-техническое и медицинское.* Структура и содержание оперативного обеспечения весьма подвижны и динамичны. Изменения характера и способов подготовки и ведения операций немедленно отражаются на широком круге мероприятий его видов: разведке, радиоэлектронной борьбе, оперативной маскировке, инженерном обеспечении, радиационной, химической и биологической и др. Каждый из этих видов обеспечения решает задачи в соответствии со своим предназначением, чем и обуславливаются присущие им специфические проблемы. Механизм проявления таких проблем зависит в одном случае от характера и особенностей решаемых задач, в другом – от среды и способов их выполнения. Эти проблемы могут быть присущи только определенному виду обеспечения, а их исследование является компетенцией соответствующей частной теории рода войск или специальных войск.

С учетом эволюционного процесса и выявленных тенденций развития радиоэлектронной борьбы следует полагать, что ее частная теория определяет цели, задачи, место и содержание этого вида оперативного обеспечения в операциях и боевых действиях, а с учетом опыта СВО в общей системе защиты войск (сил); принципы, формы, методы организации и выполнения присущих ей специальных мероприятий в мирное и военное время; организационную структуру войск РЭБ и способы их применения; рассматривает основные категории, понятия и эффективность выполнения задач радиоэлектронной борьбы, а также определяет ее прямые и косвенные взаимосвязи с другими видами оперативного обеспечения и формами военных действий.

Под *теорией радиоэлектронной борьбы* необходимо понимать систему научных знаний, которая определяет структуру, содержание, тенденции развития, закономерности, принципы, формы и способы ведения РЭБ, выполнения задач РЭБ по достижению целевых установок вида оперативного обеспечения при решении оперативных задач объединений, соединений, частей видов Вооруженных Сил, родов войск и других войск (сил) РФ в ходе военных действий и в мирное время [2].

Как любое научное направление, частная теория РЭБ имеет свои объект и предмет исследования.

Под *объектом познания частной теории РЭБ* следует понимать операции (боевые действия) группировок войск (сил), объединений видов Вооруженных Сил, родов войск ВС и других войск Российской Федерации в ходе войны (вооруженного конфликта), а также при выполнении отдельных задач в мирное время. Они являются предметом изучения теории оперативного искусства, но теория РЭБ не может существовать в отрыве от нее и должна учитывать рекомендации по способам решения задач в операциях и других современных формах применения войск (сил).

*Предметом* изучения и исследования РЭБ является теория и практика обеспечения в электромагнитном спектре подготовки и ведения операций (боевых действий).

К *предмету исследования* частной теории можно отнести тенденции, закономерности, принципы и модели, описывающие процессы организации и выполнения задач радиоэлектронной борьбы в операциях и других формах военных действий войск (сил), а также предназначение, организационно-штатную структуру и возможности формирования войск РЭБ, мероприятия по поддержанию их в постоянной высокой боевой и мобилизационной готовности.

Конечными целями вида обеспечения радиоэлектронная борьба являются повышение эффективности применения своих войск в операциях (боевых действиях), снижение эффективности применения войск (сил) и средств противника за счет мероприятий РЭБ.

Исходя из того, что частная теория РЭБ базируется на единой методологической основе теории военного искусства (ее основных закономерностях и принципах) и является составной частью теории оперативного искусства (рис. 1), она тоже содержит общие основы, определяющие единые теоретические взгляды на проблему в целом, а также разделы по подготовке и выполнению задач РЭБ во всех видах также разделы по подготовке и выполнению задач РЭБ во всех видах военных действий и в мирное время.

Теоретические положения РЭБ существуют и развиваются в системной связи не только с другими теориями в рамках военного искусства, но и с базовыми науками. Использование достижений таких естественных и технических наук, как физика, автоматика, математика, информатика и радиотехника, во многом определяет развитие техни-

ческой базы и способствует дальнейшему повышению эффективности мероприятий радиоэлектронной борьбы. При этом связь теоретических положений РЭБ с другими науками является диалектической.

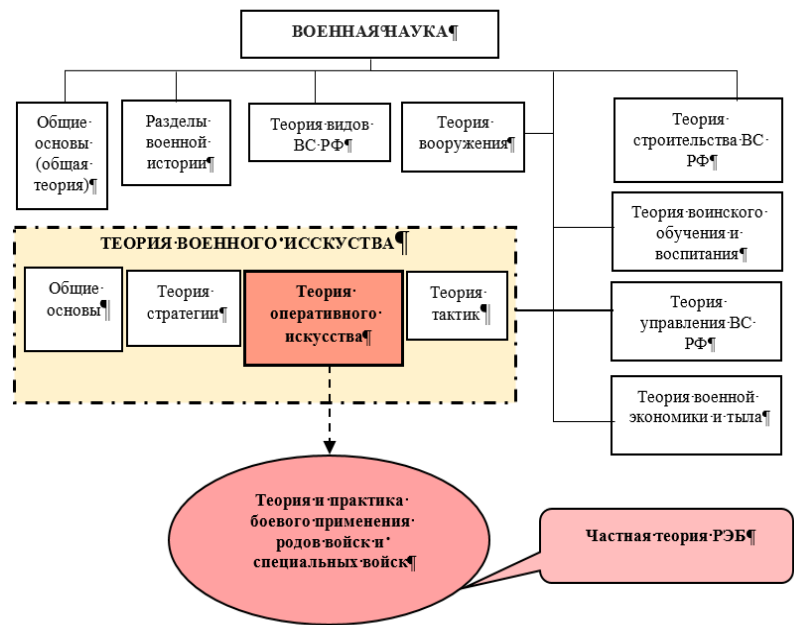


Рис. 1. Место частной теории РЭБ в военной науке

Они используют достижения других наук в своей специфической области и ставят новые задачи, связанные с решением проблем повышения эффективности применения группировок войск в операциях. Успехи, достигнутые частной теорией РЭБ, конкретизируют и обогащают научные выводы и результаты исследований смежных теорий и наук, особенно военной науки, которая является ведущей в системе знаний о вооруженной борьбе.

**Задачи частной теории РЭБ** целесообразно выделять исходя из обобщения основных научных направлений, определяющих потребности практики, анализа ее закономерностей и принципов, а также из необходимости развития самой теории и ее методологической базы.

В самом общем виде ее главными задачами могут быть: исследование характера операций и других форм военных действий по вопросам РЭБ с учетом опыта последних войн и вооруженных конфликтов (специальной военной операции) в нашей стране и за рубежом; выявление закономерностей и тенденций ведения противоборства в электромагнитном спектре, при высокоточного и нетрадиционного оружия, а также средств индивидуальной и коллективной защиты; формулирование современных требований к радиоэлектронной борьбе, развитие принципов ее подготовки и осуществления; изыскание и разработка новых эффективных способов ведения радиоэлектронной борьбы в военных действиях оперативно-стратегического, оперативного и оперативно- тактического масштабов; совершенствование методов управления соединениями (частями) войск РЭБ и организации их взаимодействия с формированиями видов, родов Вооруженных Сил и других войск (сил) Российской Федерации.

Важнейшими задачами научных разделов подготовки и осуществления РЭБ в военных действиях целесообразно считать следующие: поддержание высокой боевой и мобилизационной готовности соединений и частей; изучение взглядов на применение сил и средств РЭБ, образцов нетрадиционного оружия и способов ведения боевых действий вероятного противника; развитие положений, раскрывающих методы работы командующих, штабов и начальников войск (службы) РЭБ по организации и ведению радиоэлектронной борьбы; обоснование объема и содержания задач РЭБ в операциях; поиск путей повышения эффективности их выполнения, разработка методов их обоснования; уточнение требований к организационной структуре и вооружению войск РЭБ, порядка взаимодействия и управления ими при подготовке и в ходе военных действий; изучение и обобщение боевого опыта и др.

**Практика** радиоэлектронной борьбы это творческая деятельность командующих, штабов, других органов управления и войск (сил) объединений по наиболее полной реализации теоретических положений при подготовке и ведения РЭБ в ходе различных форм военных действий, а также решении других задач в мирное и военное время [3].

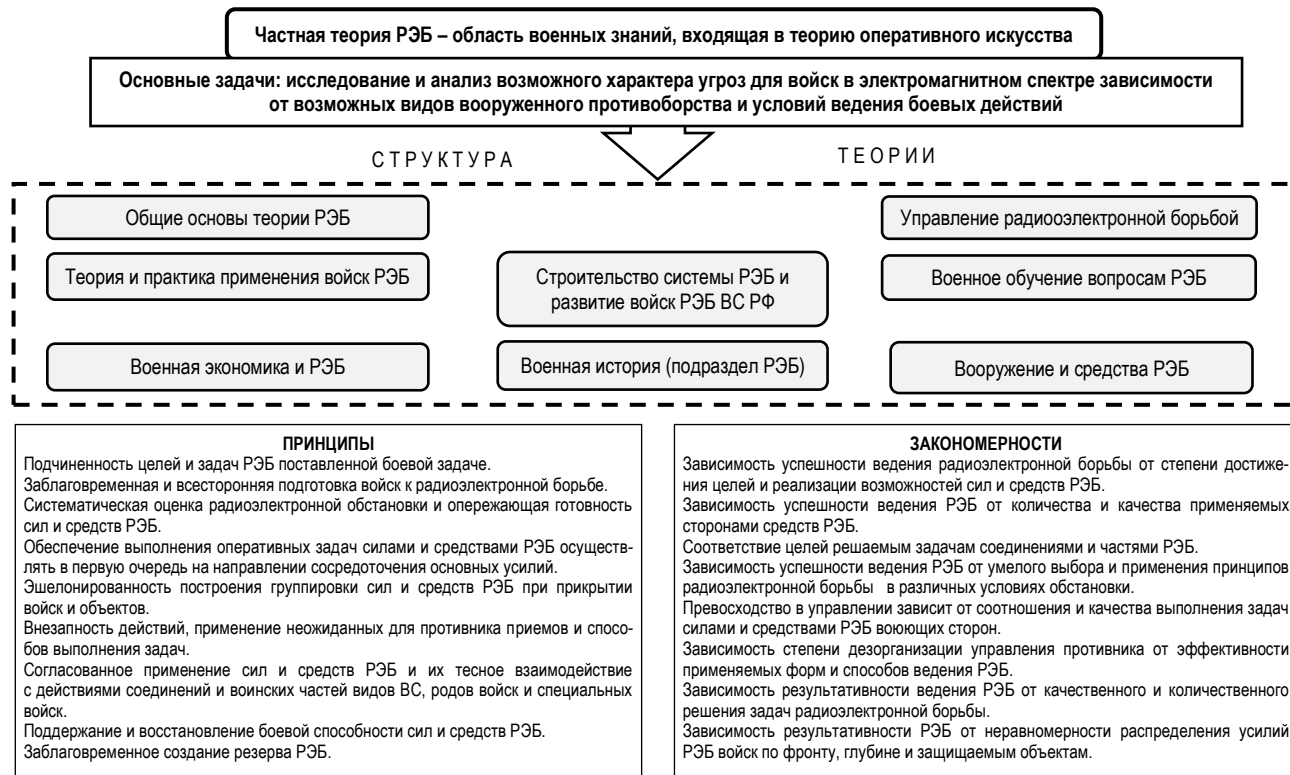


**Рис. 2. Структура частной теории РЭБ**

В условиях мирного времени задачи практики имеют определенные ограничения. Это обстоятельство усиливает роль теоретической составляющей, которая обязана изучать опыт оперативной подготовки органов управления и войск, доводить его до уровня реальной вооруженной борьбы (операции, боевых действий) и на этой основе вырабатывать взгляды и рекомендации для применения их органами управления и войсками в боевой обстановке.

В общем виде структуру, содержание и задачи частной теории РЭБ на современном этапе можно представить в виде схемы (рис. 2).

Дальнейшее совершенствование частной теории РЭБ происходит под влиянием ряда факторов, т. е. объективных и субъективных причин и условий, выступающих в качестве движущих сил развития.

К *главным объективным факторам* следует отнести: военно-политическую обстановку в мире и отдельных регионах, тенденции ее развития; количественное и качественное развитие вооружения и военной техники, обуславливающее коренные изменения в характере и содержании вооруженной борьбы, в том числе ВТО и образцов нетрадиционного оружия; состояние Вооруженных Сил, уровень подготовки и качество мобилизационных резервов; состав и состояние группировок вооруженных сил вероятного противника, изменение взглядов на подготовку и ведение операций (боевых действий) и др.

К *основным субъективным факторам* можно отнести: деятельность высшего военно-политического руководства государства по определению приоритетов строительства Вооруженных Сил; уровень профессиональной подготовки военных кадров, требования министра обороны и начальника войск РЭБ ВС РФ по подготовке органов управления и войск к радиоэлектронной борьбе, а также некоторые другие.

Особенности вооруженной борьбы в специальной военной операции показывают на появление нового фактора влияющего на подготовку и ведение РЭБ, это широкое применение специализированных средств ударного и многоцелевого назначения, тактико-технические характеристики и эффективность которых близки к современным образцам тактической авиации.

В современной теории и практике РЭБ требуется учесть: применение гетерогенных групп беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); создание гиперзвуковых БПЛА; новые возможности создания авиационных групп смешанного типа, состоящих из пилотируемых и беспилотных аппаратов; оснащение БПЛА интеллектуальными систе-

мами управления для осуществления автономного маневрирования, определения цели и применения оружия; постоянное развитие приемов и «роевых» действий БПЛА; увеличение длительности и автономности полета БПЛА.

Разработка и применение технологий автономных и групповых робототехнических систем все глубже пронизывает систему существующего вооружения как в России, так и в других развитых странах мира и все чаще находит совместное применение на театрах военных действий. Применение новых видов оружия в совокупности с элементами технологий искусственного интеллекта изменяет подходы не только к ведению боевых действий, но и к системе защиты. Сегодня актуальной является проблема борьбы с робототехническими комплексами (РТК) в различных сферах применения.

Для этого необходимы исследования, направленные на разработку приемов противодействия РТК не только, как отдельной боевой единицы, но и как элемента сложной системы.

Перспективным направлением развития военной робототехники стало развитие методов группового управления, способов построения и применения групп РТК.

При этом основной тенденцией современного совершенствования военной робототехники становится постепенный переход от дистанционно управляемых к полуавтономным, а в перспективе и к полностью автономным РТК. Это обуславливает потребность уточнения теоретических положений и выработки практических рекомендаций по радиоэлектронной борьбе.

Таким образом, частная теория РЭБ сохраняет свое место в общей структуре военной науки, является одним из актуальных направлений исследования в настоящее время и обеспечивает взаимосвязанное развитие теории военного искусства в целом.

### ***Список использованных источников***

1. Военно-теоретический труд «Военная наука» – М.: ВАГШ ВС РФ, 2025. – 297 с.
2. Военный энциклопедический словарь. – М.: Воениздат. – 2007. – 3. – С. 220.
3. Категории, законы и методы военной науки. Теоретический труд. – М.: Тип. ВАГШ. – 1996. – 192 с.
4. Останков В.И. Строительство Вооруженных Сил: вопросы теории и практики // Военная мысль, 1998. Вып. 2. – С. 21-26

**А. Д. Родионов**

(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **ОТ ГЛУШЕНИЯ РАДИОПРИЕМНИКОВ ДО ПОДАВЛЕНИЯ СПУТНИКОВ: ЭВОЛЮЦИЯ РОССИЙСКИХ ВОЙСК РЭБ В XXI ВЕКЕ**

*Аннотация.* Статья прослеживает историческую эволюцию российских Войск радиоэлектронной борьбы от первых экспериментов 1904 года до современных стратегических комплексов, способных подавлять спутниковую связь на тысячи километров. Анализируются ключевые этапы становления РЭБ как самостоятельного рода войск, современное состояние и перспективы развития в условиях цифровизации военных конфликтов.

*Ключевые слова:* радиоэлектронная борьба, войска РЭБ, электромагнитное превосходство, история военной техники.

**A. D. Rodionov**

(Specific Training and Combat Use Center  
Electronic Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **FROM JAMMING RADIO RECEIVERS TO SUPPRESSING SATELLITES: THE EVOLUTION OF RUSSIAN EW TROOPS IN THE 21ST CENTURY**

*Abstract.* The article traces the historical evolution of the Russian Electronic Warfare Troops from the first experiments in 1904 to modern strategic systems capable of jamming satellite communications over thousands of kilometers. It analyzes the key stages of the development of electronic warfare as an independent branch of the military, its current state, and prospects for development in the context of digitalization of military conflicts.

*Keywords:* electronic warfare, Electronic Warfare Troops, electromagnetic superiority, history of military technology.

### **1. Введение**

15 апреля 1904 года – дата, которая вошла в историю военной техники как день рождения радиоэлектронной борьбы. Именно тогда, во время русско-японской войны, вице-адмирал П.П. Ухтомский приказал броненосцу «Победа» и береговой станции Золотой горы «пере-

бывать большой искрой» рабочий диапазон японских кораблей-корректировщиков, телеграфировавших данные для артиллерийской стрельбы. Этот примитивный, но эффективный метод, мощное глушение сигнала противника, позволил дезорганизовать управление огнем: из более чем 60 выпущенных снарядов ни один не достиг цели.

За 120 лет эволюции РЭБ претерпела кардинальную трансформацию: от простого «забивания» радиочастот до комплексного информационного противоборства, охватывающего весь спектр электромагнитных излучений – от коротких волн до космических орбит. Российские Войска РЭБ, официально сформированные как самостоятельный род войск лишь 19 января 2009 года, сегодня представляют собой один из наиболее технологически развитых компонентов Вооруженных сил, способный обеспечивать электромагнитное превосходство в масштабах театра военных действий.

## **2. Исторические этапы развития: от радиопомех к электронному подавлению**

### **2.1. Зарождение РЭБ (1904 – 1945)**

Первый опыт РЭБ 1904 года, хотя и был успешным, остался единичным эпизодом. В период Первой мировой войны радиопомехи применялись эпизодически, в основном для нарушения связи между штабами. Специализированных средств не существовало – использовались обычные радиостанции, передававшие на частоте противника.

Ситуация изменилась в ходе Великой Отечественной войны. 16 декабря 1942 года по инициативе Л.П. Берии и решению Государственного комитета обороны в составе Управления войсковой разведки Генерального штаба был создан отдел по руководству работой радиостанций мешающего действия. Появились первые специализированные части, три радиодивизиона, оснащенные станциями для «забивки» немецких радиостанций. Первый опыт применения 131-го отдельного дивизиона в феврале-апреле 1943 года показал эффективность: было сорвано или затруднено прием около 500 радиোগрамм и нарушено более 1000 сеансов связи.

### **2.2. Послевоенное становление (1945 – 1991)**

После войны части радиопомех были расформированы, но Корейская война 1952–1953 годов, где США массированно использовали средства РЭБ для подавления систем управления КНДР, стала толчком

для восстановления службы. В 1952 году в штабе войск связи была сформирована группа «мешания и защиты» (МИЗ), а в 1953 году в Калуге начал формироваться первый послевоенный батальон радиопомех (10-й обрп РВГК).

Ключевой этап – 1957 год: в Главном штабе Сухопутных войск создан 9-й отдел радиопротиводействия, введены должности офицеров РПД в штабах военных округов и групп войск. Началось формирование специализированных частей – орбит СН «Ф», «А» и «С» в различных округах. Терминология эволюционировала: от «радиопротиводействия» (РПД) в 1940 – 1950-е годы к «борьбе с радиоэлектронными средствами противника» (БРЭСП) в 1962 году, и, наконец, к современному термину «радиоэлектронная борьба» (РЭБ), введенному в 1969 году.

В 1980-е годы РЭБ стала критическим элементом советской военной доктрины. 30 августа 1989 года создан Центр комплексного технического контроля Генерального штаба – организационный предшественник современной структуры управления.

### **2.3. Становление самостоятельного рода войск (1991 – 2009)**

В постсоветский период Войска РЭБ сохранились, но переживали трансформацию. С 1991 года началось формирование Войск РЭБ Вооруженных сил Российской Федерации, однако статус самостоятельного рода войск они получили лишь 19 января 2009 года. Это решение отразило осознание стратегической значимости электромагнитного спектра в современных конфликтах.

## **3. Современное состояние: технологический прорыв**

### **3.1. Организационная структура**

Современные Войска РЭБ состоят из отдельных воинских частей и соединений, а также подразделений, входящих в состав других родов войск. Ключевые формирования включают 475-й отдельный Центр РЭБ Черноморского флота (в/ч 60135) в Крыму, центры РЭБ в других военных округах.

### **3.2. Поколения комплексов РЭБ**

Современная техника Войск РЭБ представляет собой многоуровневую систему, охватывающую все диапазоны частот и типы целей:

**Стратегический уровень – «Мурманск-БН»:** Комплекс коротковолновой радиоразведки и радиоподавления, развернутый в Крыму с 2017 года. Способен вести радиоразведку на дальностях до 5000 км, перехватывать сигналы и создавать помехи линиям коротковолновой

связи оперативно-стратегического уровня. По некоторым данным, комплекс может подавлять спутниковую связь, сотовую связь стандартов VHF-UHF и радиоприемники в зоне покрытия.

**Оперативно-тактический уровень – «Красуха-4»:** Станция активных помех для прикрытия командных пунктов, группировок войск и объектов ПВО. Анализирует тип сигнала и воздействует на радары противника помеховым излучением, способна подавлять спутники-шпионы, наземные радары и системы ДРЛО. Дальность действия оценивается в 150...300 км.

**Тактический уровень – «Житель» и «Инфауна»:** Автоматизированная станция Р-330Ж «Житель» предназначена для подавления спутниковой связи «Инмарсат», «Иридиум», навигации GPS и сотовой связи GSM. Комплекс РБ-531Б «Инфауна» на базе БТР защищает от радиоуправляемых взрывных устройств и высокоточного оружия с лазерными системами наведения.

**Беспилотный компонент – «Леер-3»:** Инновационный комплекс, использующий БПЛА «Орлан-10» как носитель источника помех. Позволяет решать задачи РЭБ на удалении свыше 100 км от позиции подразделения; один беспилотник способен оставить без мобильной связи небольшой населенный пункт.

### **3.3. Эволюция задач**

Если в 1904 году задача была проста – «забить» частоту корректировщика, то современные Войска РЭБ решают комплекс миссий: – Завоевание господства в эфире – Защита собственных систем управления от помех противника – Нарушение работы систем управления противника – Снижение эффективности боевых средств противника – Противодействие беспилотным летательным аппаратам – Подавление спутниковой навигации и связи.

### **4. Перспективы: к космической РЭБ и когнитивным системам**

Современная эволюция Войск РЭБ движется в нескольких направлениях.

**Космическая составляющая:** Развитие средств РЭБ, способных воздействовать на спутниковые группировки противника, – логичное продолжение траектории от глушения наземных радиостанций к подавлению орбитальных систем.

**Интеграция с киберпространством:** Конвергенция РЭБ и киберопераций создает новый домен – кибер-электронную борьбу, где электромагнитное воздействие дополняется программно-аппаратным поражением.

**Когнитивные системы:** Переход от реактивного подавления к проактивному, основанному на искусственном интеллекте и машинном обучении для анализа электромагнитной обстановки.

**Противодействие swarm-технологиям:** Разработка средств борьбы с массированным применением беспилотников, требующих принципиально новых подходов к созданию помех.

**Выводы.** Эволюция российских Войск РЭБ от «большой искры» 1904 года до стратегических комплексов «Мурманск-БН» демонстрирует трансформацию радиоэлектронной борьбы из вспомогательного средства в самостоятельный род войск, способный определять исход военных конфликтов. Сохраняя историческую преемственность методов – подавление связи и навигации противника, защита собственных систем – современная РЭБ достигла глобального охвата и стратегической глубины. Дальнейшее развитие будет связано с освоением космического пространства, интеграцией с кибероружием и применением технологий искусственного интеллекта для достижения информационного превосходства в условиях сетецентрических войн.

### ***Список использованных источников***

1. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиоэлектронной борьбы: Учебное пособие. – М.: Вузовская книга, 2007.
2. Добыкин В.Д., Куприянов А.И., Пономарев В.Г., Шустов Л.Н. РЭБ. Силовое поражение радиоэлектронных систем. – М.: Вузовская книга, 2007.
3. Цветнов В.В., Демин В.П., Куприянов А.И. РЭБ. Радиоразведка и радиопротиводействие: В 2 т. – М.: МАИ, 1998. – Т. 2.
4. Цветнов В.В., Демин В.П., Куприянов А.И. РЭБ. Радиомаскировка и помехозащита. – М.: МАИ, 1999.
5. Вартанесян В.А. Радиотехническая разведка. – 2-е изд. – М., 1991.
6. Макаренко С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба. – М.: Радиотехника, 2006.
7. Современная РЭБ. Вопросы методологии. – М.: Радиотехника, 2006.
8. Николенко Ф.Н. Основы теории радиоэлектронной борьбы. – канал.х. – М., 2021.

9. Дружинин В.В. Вопросы военной системотехники. – 2023.
10. Леньшин А.В. Бортовые комплексы обороны самолетов и вертолетов: Учебное пособие. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018.
11. РЭБ (Радиоэлектронная борьба). Обнаружение и подавление БПЛА: Памятка-учебник волонтеру и бойцу. – Уфа: Фабрика специзделий, 2025.
12. Палий А.И. К вопросу об истории развития и перспективах радиоэлектронной борьбы // CyberLeninka, 2025.
13. Палий А.И. РЭБ в боевых действиях мировых и локальных войн // Военно-исторический журнал, 2004.
14. Радиоэлектронная борьба в Вооруженных силах Российской Федерации // Молодой ученый, 2024. – № 36 (536).
15. Энциклопедия «Оружие и технологии России. XXI век»: Т. 13 – «Системы управления, связи и РЭБ».
16. Войска РЭБ // Контингент (военно-исторический портал), 2024.
17. Радиоэлектронная борьба. История зарождения // RusDARPA, 2021.
18. Электронные глушилки меняют приоритеты // Независимое военное обозрение, 2022. – 28 апреля.
19. Системы и средства РЭБ // АО «Концерн «Созвездие». – URL: [www.sozvezdie.su](http://www.sozvezdie.su).

УДК 37.091.64

**Д. А. Лезин, А. Р. Дронов**  
(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **ЗАРОЖДЕНИЕ ВОЙСК РЭБ В РОССИИ: ОТ «ЗАБИВКИ» РАДИОСТАНЦИЙ ДО РОДА ВОЙСК**

*Аннотация.* Статья посвящена исследованию процесса зарождения и становления радиоэлектронной борьбы (РЭБ) в России в первой половине XX века. Рассматривается эволюция радиопротиводействия от стихийного применения радиопомех в ходе Русско-японской войны 1904 года до создания специализированных частей и органов управления в период Великой Отечественной войны. Особое внимание уделено организационным предпосылкам формирования службы радиопомех в 1942 году, а также ее боевому применению в Сталинградской и Курской битвах. Показано, что ключевую роль в развитии РЭБ сыграли не столько технические инновации, сколько институцио-

нальные решения, обеспечившие централизованное управление, интеграцию радиоразведки и подавления, а также подготовку кадров. В заключение выделяются основные закономерности становления РЭБ как самостоятельного направления военной деятельности.

*Ключевые слова:* радиоэлектронная борьба; радиопротиводействие; радиопомехи; радиоразведка; Великая Отечественная война; Сталинградская битва; Курская битва; Генеральный штаб; военная организация; история военного дела; связь в армии; электромагнитная борьба.

**D. A. Lezin, A. R. Dronov**

(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **THE ORIGIN OF THE ELECTRONIC WARFARE FORCES IN RUSSIA: FROM THE «CLOGGING» OF RADIO STATIONS TO THE KIND OF TROOPS**

*Abstract.* The article is devoted to the study of the process of the origin and formation of electronic warfare (EW) in Russia in the first half of the 20th century. The evolution of radio interference from the spontaneous use of radio interference during the Russian-Japanese War of 1904 to the creation of specialized units and control bodies during the Great Patriotic War is considered. Special attention is paid to the organizational prerequisites for the formation of the radio interference service in 1942, as well as its combat use in the Battles of Stalingrad and Kursk. It is shown that the key role in the development of electronic warfare was played not so much by technical innovations as by institutional solutions that provided centralized management, integration of radio intelligence and suppression, as well as personnel training. In conclusion, the main patterns of the formation of electronic warfare as an independent area of military activity are highlighted.

*Keywords:* electronic warfare; radio interference; radio intelligence; The Great Patriotic War; Battle of Stalingrad; Battle of Kursk; General Staff; military organization; history of military affairs; communications in the army; electromagnetic warfare.

### **1. Введение**

История радиоэлектронной борьбы (РЭБ) в российской армии – это история не столько технического прогресса, сколько интеллектуальной адаптации: способности военной мысли оперативно реагировать на изменения в способах управления войсками. Если датой рождения танковых войск можно считать 1916 год и битву на Сомме,

а военно-воздушных сил – 1909 год с полетами французского летчика над турецкими позициями в Марокко, то войска РЭБ «родились» дважды: в 1904 году – как стихийное открытие возможности подавления радиосвязи, и в 1942-м – как осознанная организационная реформа, порожденная требованиями тотальной войны.

Эта статья прослеживает путь от первых радиопомех у берегов Порт-Артура до формирования самостоятельной службы радиопротиводействия в советской армии – период, когда РЭБ превратилась из эпизодического приема в системный элемент военного искусства.

## **2. Предыстория: радио как объект борьбы (1904–1941)**

### **2.1. Порт-Артур, 1904: первый прецедент**

15 апреля (по старому стилю – 2 апреля) 1904 года, во время Русско-японской войны, произошло событие, позже названное «днем рождения РЭБ». Японский флот начал третью «перекидную стрельбу» по крепости Порт-Артур: броненосные крейсера «Нисин» и «Касуга», находясь вне досягаемости русских береговых батарей, корректировали огонь дальнобойных орудий по радио.

Связисты эскадренного броненосца «Победа» и флотской телеграфной станции на Золотой горе обнаружили, что мощное излучение искрового передатчика на частоте японской радиостанции полностью подавляет ее сигнал. Временно исполняющий обязанности командующего Тихоокеанской эскадрой контр-адмирал П.П. Ухтомский рапортовал: «С самого начала стрельбы... броненосец „Победа“ и станции Золотой Горы начали перебивать большой искрой неприятельские телеграммы». В результате из 208 выпущенных японских снарядов ни один не попал в цель. Это был первый в мировой истории случай применения радиопомех как оружия.

Однако этот успех остался единичным. Вплоть до 1940-х годов радиопротиводействие рассматривалось не как самостоятельный вид боевой деятельности, а как побочная функция радиосвязи. В Первую мировую войну радиопомехи создавались преимущественно путем настройки приемопередатчиков на частоту противника – метод, требовавший высокой квалификации оператора и не позволявший массового применения.

### **2.2. Межвоенный период: разведка без противодействия**

В 1920 – 1930-е годы в РККА развивалась радиоразведка, но не радиопротиводействие. В 1931 году в Ленинградском военнотехническом училище связи РККА началась подготовка специалистов

по «радиоперехвату», а в 1936-м был разработан проект станции радиопомех «Гром» для подавления коротковолновой связи. Однако до начала Великой Отечественной войны эти разработки не вышли из стадии опытных образцов.

Критический недостаток предвоенной подготовки заключался в отсутствии организационной структуры, способной эффективно применять радиопомехи. Станции «Гром», «Шторм» и «Шторм-2» испытывались в 1939–1940 годах, но серийное производство не было налажено. К июню 1941 года Красная армия не имела ни одной специализированной части радиопротиводействия.

### **3. Рождение в пламени Сталинграда (1942–1943)**

#### **3.1. Кризис радиосвязи вермахта как стратегическая угроза**

К осени 1942 года стало очевидно: немецкое командование широко использует радиосвязь для оперативного управления войсками, а Красная армия не имеет эффективных средств борьбы с этим. Особенно остро проблема проявилась в ходе Сталинградской битвы. Окруженная 6-я армия Паулюса поддерживала устойчивую радиосвязь с внешним миром, координируя действия с группировками Манштейна, пытавшимися прорвать кольцо окружения.

14 декабря 1942 года народный комиссар внутренних дел Л.П. Берия направил Сталину докладную записку: «Красная армия совершенно не занимается забивкой радиостанций противника, действующих на поле боя... В частности, нам известно, что радиостанции частей германской армии, окруженных в районе Сталинграда, держат связь со своим руководством, находящимся вне окружения».

Этот документ – не просто техническое предложение, а политическое заявление: радиопротиводействие признавалось стратегически значимым направлением, требующим централизованного управления на уровне Государственного комитета обороны.

#### **3.2. Постановление ГКО № 2633: организационное оформление**

16 декабря 1942 года Сталин подписал постановление ГКО № 2633-сс «Об организации в составе Управления войсковой разведки Генерального штаба Красной Армии отдела по руководству работой радиостанций мешающего действия». Этот документ стал актом рождения советской службы радиопротиводействия.

Ключевые положения постановления: – Создание Отдела радиостанций мешающего действия (РСМД) в структуре Управления вой-

сковой разведки ГШ – Формирование трех радиодивизионов специального назначения (радиопомех) в составе 130, 131 и 132 отдельных дивизионов – Задача: «забивка» радиостанций противника на поле боя.

Начальником нового отдела был назначен заместитель начальника отдела радиоразведки инженер-подполковник Михаил Иванович Рогаткин – фигура, определившая развитие отечественной РЭБ на последующие четверть века. Именно он разработал тактику применения дивизионов радиопомех, организовал их техническое оснащение и подготовку кадров.

### **3.3. Техника первых дивизионов**

Первые радиодивизионы получили на вооружение станции РАФ-КВ – мощные коротковолновые передатчики, размещенные на шасси грузовых автомобилей ЗИС-5 и ЗИС-6. Принцип действия был прост: оператор настраивал передатчик на несущую частоту немецкой радиостанции и излучал непрерывный сигнал или хаотичную последовательность символов, делая прием невозможным.

Особенностью тактики стало централизованное управление: приемные центры дивизионов вели непрерывную радиоразведку, определяли частоты и характер работы немецких станций, после чего давали целеуказания передатчикам помех. Это различие между «разведкой» и «подавлением» – функциональное, а не организационное – станет характерной чертой советской школы РЭБ.

### **4. Боевое крещение: Курская дуга (1943)**

Первое применение радиодивизионов совпало с ключевым сражением войны. 131-й отдельный дивизион радиопомех под командованием майора А.К. Бушуева прибыл на Северо-Западный фронт в феврале 1943 года и получил задачу создавать помехи радиосвязи группы армий «Север».

В ходе Курской битвы 130-й и 131-й дивизионы действовали на южном фланге обороны. Целями стали радиосети 4-й танковой армии, штабов танковых и пехотных корпусов, наступавших на Прохоровку. Операторы станций радиопомех срывали до сотни радиосвязей, вынуждая немецкое командование повторять передачи по 15–20 раз.

Эффективность подавления достигалась не только техническими средствами, но и тактическими приемами. Осенью 1943 года дивизионы освоили имитацию радиопередач противника: операторы передавали ранее перехваченные радиোগраммы и позывные немецких станций,

создавая у противника иллюзию нормальной связи. Этот метод, получивший название «ложная радиосвязь», стал предвестником современных средств дезинформации.

#### **4.1. Тактические итоги**

За период с февраля по апрель 1943 года 131-й дивизион сорвал или затруднил прием около 500 радиোগрам и нарушил более тысячи сеансов радиосвязи. В масштабе всей войны средствами радиопомех было сорвано более 30 000 важнейших радиопереговоров между командными пунктами противника – от групп армий до дивизий включительно.

Особо эффективным радиопротиводействие оказывалось при подавлении связи окруженных группировок. В Кенигсбергской операции 1945 года 131-й дивизион полностью парализовал радиосвязь гарнизона крепости. Командующий окруженной группировкой генерал-полковник О. Ляш на допросе показал: «Эффективные действия забивочных средств русских не дали возможности использовать радиосредства. Это послужило одной из причин моей капитуляции».

### **5. Институционализация: от дивизионов к службе (1943 – 1950)**

#### **5.1. Расширение структуры**

Успех первых дивизионов привел к созданию дополнительных частей. К концу войны действовали: – 130-й отдельный дивизион радиопомех (награжден орденом Красной Звезды) – 131-й отдельный дивизион радиопомех (орден Красной Звезды, почетное наименование «Кенигсбергский») – 132-й отдельный дивизион радиопомех (орден Богдана Хмельницкого) – 226-й отдельный дивизион радиопомех.

Все дивизионы подчинялись непосредственно фронтовому или армейскому командованию, что обеспечивало оперативность применения, но создавало проблемы координации на стратегическом уровне.

#### **5.2. Послевоенная реформа**

После войны наступил период сокращений, однако радиопротиводействие сохранило приоритетный статус. 23 сентября 1953 года в Генеральном штабе была введена должность помощника начальника ГШ по вопросам радиотехнической разведки и помех, а 4 ноября того же года организован соответствующий аппарат. Это означало выход радиопротиводействия на уровень центрального военного управления.

26 июня 1960 года аппарат помощника начальника ГШ был преобразован в 9-й отдел Генерального штаба (борьбы с радиоэлектронными средствами противника). В 1964–1965 годах отдел прошел через сложные структурные перестройки, включая кратковременное включение в состав Главного оперативного управления, но в 1968 году на его базе была сформирована Служба радиоэлектронного противодействия ГШ – фактически завершившийся процесс институционализации РЭБ как самостоятельного направления военной деятельности.

### **5.3. Терминологическая эволюция**

Историк РЭБ В.Г. Разин выделяет три этапа в развитии отечественной доктрины:

1. 1940–1950-е годы – период РПД (радиопротиводействия): акцент на радиоэлектронное подавление (РЭП)

2. 1960-е годы – период БРЭСП (борьбы с радиоэлектронными средствами противника): расширение задач, включая ядерное поражение и захват объектов

3. 1970-е и позднее – период РЭБ (радиоэлектронной борьбы): комплексное понимание, включающее разведку, подавление и защиту собственных средств

Эта эволюция терминов отражает не просто смену модных слов, но изменение понимания сущности борьбы в электромагнитной сфере: от узкотехнического «подавления» к оперативно-стратегическому «противодействию» и, наконец, к системному пониманию «борьбы» как двустороннего процесса.

### **6. Уроки зарождения**

Анализ первого десятилетия истории советской РЭБ позволяет выделить несколько ключевых закономерностей, актуальных и сегодня:

а) Технология vs. организация. Первые успехи РЭБ в 1942–1943 годах были достигнуты не благодаря техническому превосходству (станции РАФ-КВ уступали немецким аналогам по ряду параметров), но благодаря организационным инновациям: централизованному управлению, четкому разделению функций между разведкой и подавлением, системной подготовке кадров. Это подтверждает тезис: в РЭБ решающее значение имеет не мощность передатчика, а качество организации боевого применения.

б) Доктринальная гибкость. Создание службы радиопомех в 1942 году стало ответом на конкретную тактическую проблему – связь

окруженных немецких войск. Однако уже в 1943-м дивизионы применялись для стратегического подавления связи групп армий, а в 1944–1945 годах – для дезинформации противника. Способность структуры, рожденной из нужды часа, адаптироваться к задачам, определила ее долгосрочное развитие.

в) Непрерывность кадров. М.И. Рогаткин, возглавивший Отдел РСМД в 1942 году, оставался ключевой фигурой в системе РЭБ до конца 1960-х. Это обеспечило преемственность опыта и предотвратило потерю ноу-хау, характерную для многих других направлений военной техники, переживших репрессии 1930-х и сокращения послевоенного периода.

г) Двойственная природа РЭБ. С самого начала радиопротиводействие развивалось как «теневая» деятельность: его успех измерялся не количеством уничтоженных целей, а количеством предотвращенных действий противника. Эта специфика создала устойчивый комплекс «невидимости» РЭБ, сохраняющийся до сих пор: даже сегодня войска РЭБ менее известны общественности, чем авиация или флот, несмотря на стратегическое значение.

### **Выводы.**

Зарождение войск РЭБ в России – это история о том, как стихийное открытие (радиопомехи у Порт-Артура) превращается в организованную военную структуру под давлением чрезвычайных обстоятельств (Сталинград), а затем эволюционирует в самостоятельный род войск (1960-е годы).

Ключевым моментом этого пути стало не техническое изобретение, а организационное решение: постановление ГКО от 16 декабря 1942 года, создавшее систему радиопротиводействия в масштабах всей армии. Именно тогда РЭБ перестала быть удачным трюком отдельных энтузиастов и стала элементом государственной военной машины.

Сегодня, когда электромагнитная сфера превратилась в один из главных театров военных действий, опыт 1942 – 1950-х годов приобретает особое значение: он показывает, что победа в «невидимой войне» определяется не столько технологическим превосходством, сколько способностью быстро адаптировать организационные структуры к новым вызовам. Урок Сталинграда – что радиопротиводействие должно быть централизованным, системным и непрерывным – остается актуальным и в эпоху кибервойн и спутниковых систем.

### ***Список использованных источников***

1. Разин В.Г. К вопросу об истории развития и перспективах радиоэлектронной борьбы // Военная мысль. – 2006.
2. Войска РЭБ // Контингент. – 2024.
3. Советская радиоразведка и РЭБ в годы войны. Часть 2 // WWII.space. – 2024.
4. Создание частей радиопомех в годы Великой Отечественной войны // Русская DARPA. – 2021.
5. Эволюция радиоэлектронной борьбы // Независимая газета. – 2018.
6. Радиоэлектронная борьба // Википедия.
7. Часовые эфира // Радиосканер. – 2007.
8. Войска радиоэлектронной борьбы Российской Федерации // Википедия.

УДК 37.091

**И. М. Шевчук, Е. А. Раздобудько**  
(В/ч 83386, Москва, Россия)

## **РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ВЗГЛЯД НА РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ**

*Аннотация.* В докладе прослеживается эволюция радиоэлектронной борьбы ВС РФ от первых опытов 1904 года до современных когнитивных систем с элементами ИИ. На основе ретроспективного анализа и обобщения боевого опыта в Сирии и на Украине систематизированы ключевые технологические и организационные этапы развития РЭБ, выявлены актуальные вызовы – от импортозависимости до необходимости подготовки кадров – и определены приоритетные направления дальнейшего совершенствования отрасли для сохранения технологического превосходства в электромагнитном спектре.

*Ключевые слова:* ретроспектива; история; этапы развития; РЭБ; перспективы.

**I. M. Shevchuk, E. A. Razdobudko**  
(Military Unit 83386, Moscow, Russia)

## **A RETROSPECTIVE VIEW ON THE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC WARFARE TECHNOLOGY**

*Abstract.* This paper traces the evolution of electronic warfare (EW) capabilities of the Armed Forces of the Russian Federation from the initial experiments in 1904 to modern cognitive systems incorporating artificial

intelligence. Based on a retrospective analysis and synthesis of combat experience in Syria and Ukraine, the study systematizes key technological and organizational stages in EW development, identifies current challenges—ranging from import dependency to the need for specialized personnel training—and outlines priority directions for further advancement of the field to maintain technological superiority in the electromagnetic spectrum.

*Keywords:* retrospective; history; development stages; electronic warfare; prospects.

## **1. Введение**

В современных условиях ведения вооруженных конфликтов радиоэлектронная борьба (РЭБ) претерпела качественную трансформацию, превратившись из вспомогательного средства обеспечения радиосвязи в одно из ключевых направлений военного дела. Способность эффективно подавлять радиолокационные средства, системы наведения ракет, спутниковую навигацию и каналы управления беспилотными аппаратами стала критическим фактором, определяющим живучесть войск и успех операций в целом.

Несмотря на доказанную высокую эффективность российских комплексов, существующие вызовы требуют пристального внимания. К ним относятся зависимость от импортных микроэлектронных компонентов, необходимость точного частотного планирования для исключения взаимных помех, а также потребность в быстром обновлении программного обеспечения для противодействия новым угрозам, включая использование искусственного интеллекта противником.

Целью данного исследования является систематизация данных об эволюции технологий РЭБ (от аналоговых систем до когнитивных сетей с элементами ИИ), анализ организации и тактики применения войск, а также выявление перспективных направлений развития. В докладе рассматриваются ключевые вехи развития, технические характеристики основных систем, опыт боевого применения и рекомендации по усилению научно-исследовательских работ в сфере отечественной элементной базы и интеграции РЭБ с кибернетическими средствами.

## **2. История и этапы развития РЭБ**

Первые попытки радиоэлектронного противодействия относятся к первой четверти XX века. В Русско-японской войне (1904) русские корабли перебивали помеховым сигналом работу японских корректировщиков огня. 20 марта 1904 года новый командующий флота Тихого

океана вице-адмирал Степан Макаров издал приказ об использовании радио для определения направления и дистанции до кораблей противника и перехвата содержания его радиোগрам. Уже 15 апреля впервые в мировой истории был сделан практический шаг от организации радиоразведки к ведению радиоэлектронной борьбы в боевых действиях на море. В этот день японцы предприняли очередной обстрел Порт-Артура корабельной артиллерией, вошедший в историческую хронику обороны крепости под названием «третьей перекидной стрельбы». Для корректировки их огня по радио японцы использовали два бронепалубных крейсера, державшихся в море напротив выхода из Порт-Артура, вне дальности огня береговых батарей. Немедленно русский эскадренный броненосец «Победа» и флотская радиостанция на Золотой горе начали перебивать «большой искрой» (более мощным сигналом своего передатчика) рабочий диапазон японских радиостанций. Постановка помех японским кораблям-корректировщикам имела определенный успех, что подтверждается и японской стороной. В результате ни один из выпущенных японскими броненосными крейсерами 208 снарядов не причинил серьезного ущерба.

Радиостанции, используемые в то время в обеих армиях, были искровыми передатчиками, конструкцию которых предложил еще в 1895 году А.С. Попов. Чтобы подавить их сообщения, применялись более мощные сигналы, «большая искра». Дальность действия систем составляла всего около 2 км, и работали они в диапазоне средств связи. На начальном этапе развития радиоборьба заключалась в основном не в подавлении сигнала противника, а в перехвате его радиосообщений, то есть, по сути – в радиошпионаже.

В последующий период мировой истории наряду со значительным развитием радиосвязи появились новые средства радиопеленгации, удаленного радиоуправления и радиолокации. Это, естественно, вызывало развитие способов противодействия радиоэлектронным средствам противника. Во время первой мировой войны организованную борьбу против радиосвязи противника вели почти все воюющие страны. Причем в начале войны наибольшее развитие получили слежка за работой радиосредств и перехваты передач. Радиопомехи с целью нарушения работы радиосвязи в армиях воюющих стран создавались очень редко.

Большую роль в слежке за штабами и войсками сыграли коротковолновые радиопеленгаторы, созданные в период первой мировой войны русскими инженерами Н.Д. Папалекси и А.Л. Мандельштамом.

С помощью радиопеленгаторов стало возможным определять направления на излучающие радиостанции и места их расположения. По числу работающих радиостанций делались выводы о районах нахождения штабов и группировках войск противника, об их изменениях и перемещениях, а вместе с перехватом радиogramм и о намерениях войск, направлениях сосредоточения основных усилий. В 1915 году армии почти всех воюющих государств, в том числе и России, имели специальные службы радиоразведки, оснащенные техникой радиоперехвата и радиопеленгования.

После революции большинство западных государств, особенно Германия и Англия, старались, как вспоминал В.Д. Бонч-Бруевич, «своими мощными станциями бороться с нашими радиogramмами, производя скандал в мировом эфире и заглушая наш мощный радиоголос какофонией звуков, перебивающих наши сообщения». Поэтому было решено построить в Москве «мощную радиостанцию, сигнал которой был бы настолько сильным, чтобы он не мог перебиваться в соседних странах, и такая станция была построена».

В последующие годы, до второй мировой войны, развитие способов ведения борьбы с радиоэлектронными средствами шло по линии усиления радиоразведки, радиодезинформации, радиоэлектронного подавления. Радиоразведка черпает сведения только путем перехвата радиogramм и определения с помощью радиопеленгаторов мест нахождения работающих радиостанций. Следовательно, если организовать передачи ложных сообщений, то можно дезинформировать противника и вынуждать к действиям, выгодным для своих войск. Так появился второй элемент радиоэлектронной борьбы – радиодезинформация. Идею создания целенаправленных помех радиолокационным станциям (РЛС) впервые высказал в 1937 года член-корреспондент Академии наук СССР Михаил Александрович Бонч-Бруевич, а одна из первых заявок на изобретение в этой области была подана уже в мае 1939-го и называлась «Метод и устройство осуществления помех типа «Лжеобъект» работе радиодальномеров (так тогда называли РЛС)». Вскоре в Советском Союзе были созданы опытные образцы первых в мире станций радиопомех «Шторм», «Шторм-2» и «Гром».

Во второй мировой войне радиоэлектронная борьба получила дальнейшее развитие. Ее вели армии всех воюющих государств. При этом на фронтах нашли широкое применение все три составные части

радиоэлектронной борьбы: радио и радиотехническая разведка, радиодезинформация и радиоэлектронное подавление.

Радиоэлектронное подавление явилось самой важной и эффективной частью борьбы, поскольку только созданием специальных подавляющих излучений электромагнитной энергии, достигалось нарушение работы радиоэлектронных систем и средств. Опытный образец станции «Гром» впервые был применен 6 сентября 1941 года при нанесении нашими войсками контрудара под Ельней. В 1942-м в начале Сталинградской битвы успешно действовала специальная группа подавления, созданная на базе штатных радиостанций. Проведя детальный анализ и обобщив результаты первого опыта создания радиопомех и убедившись в их высокой эффективности, нарком внутренних дел СССР Берия направил в Государственный Комитет обороны докладную записку, в которой, в частности, отмечалось: *«НКВД СССР считает целесообразным организовать в Красной Армии специальную службу по забивке немецких радиостанций, действующих на поле боя».*

В итоге были созданы два отдельных радиодивизиона специального назначения, которые вошли в состав Сталинградского и Донского фронтов соответственно. В конце 1942 года войска Юго-Западного, Донского и Сталинградского фронтов усиленно вели радиоразведку. После окружения 6-й германской армии, в целях подавления ее радиосвязи, командование Сталинградского фронта создало группу радиоподавления, имевшую несколько мощных радиостанций. Для разведки радиосредств окруженных войск, наведения на них станций помех и определения эффективности подавления был задействован 394-й отдельный радиодивизион. Одновременно для дезинформации штаба 6-й армии была выделена специальная радиостанция, работавшая позывными радиостанции штаба группы войск Манштейна, пытавшейся прорвать кольцо окружения. Этой радиостанцией было принято от штаба 6-й армии 86 особо важных радиোগрам. Подавление работы вражеских радиостанций осуществлялось путем настройки наших радиостанций на рабочие волны станций противника и ведения «бессмысленных» передач в периоды их работы. Установленный контроль за степенью подавления радиосвязи, а также показания плененных генералов и офицеров 6-й армии, свидетельствуют об исключительно высокой эффективности проведенных мероприятий.

Ключевым прорывом в истории РЭБ стало применение специальных приборов СОЛ-3 и СОЛ-3А на самолетах советских ВВС с 1942 года. С их помощью определялось попадание самолетов в зоны облучения РЛС противника, что позволяло маневрировать и уходить от наведения огня. Примерно с середины 1943 года советская авиация начала использовать выброс с самолетов радиоотражателей в виде бумажных металлизированных лент – дипольных отражателей, которые создавали на радарх немцев сотни ложных целей, полностью обнуляя возможности наведения ПВО. Это открыло целое мировое направление РЭБ – постановку пассивных помех.

Уже в конце войны в ходе Берлинской операции русская РЭБ достигла совершенства. Она включала радиоразведку, радиоподавление, дезинформацию и огневое поражение радиосредств командных пунктов и пунктов управления противника.

Таким образом, в период второй мировой войны радиоэлектронная борьба получила свое дальнейшее развитие и совершенствование. Возросли масштабы применения средств радиоэлектронного подавления, начали создаваться специальные части (подразделения), стала вырабатываться тактика их применения; борьбой были охвачены не только радиосвязь, но и радиолокация и радионавигация.

Однако массовое формирование войск РЭБ произошло во второй половине XX века. В Вооруженных силах СССР серьезное внимание вопросам РЭБ вновь стали уделять в 1950 – 1953 годах, когда война в Корее весьма убедительно продемонстрировала эффективность применения новых радиоэлектронных средств. Во всех видах советских войск были сформированы новые современные батальоны радиопомех, радиолокации и радионавигации. Уже в 1968 – 1973 годах с учетом опыта вьетнамского конфликта была создана единая служба радиоэлектронной борьбы. Так, постановлением правительства в 1978 г. в составе ВС СССР создавались отдельные дивизионы радиопомех. Именно эта концепция позволила проводить цельную техническую политику в области создания аппаратуры, целенаправленно готовить специалистов, осуществлять единое планирование и управление силами и средствами советских РЭБ.

В добавление к уже существующим и сильно модернизированным технологиям пассивных помех и радиоразведки войска получили и новые – станции активных помех и радиопоглощающие материалы для снижения заметности военной техники. В 1970-х годах с появле-

нием в войсках вероятного противника новых систем разведки и управления и совершенствованием существующих появилась необходимость в изыскании и отработке новых способов ведения РЭБ в операциях. В связи с этим Генеральным штабом ВС СССР был подготовлен и проведен ряд специальных и опытных оперативно-стратегических учений. Например, на учении «Эфир-72» исследовались общие принципы РЭБ, а в ходе учения «Эфир-74» – способы ее ведения. В последующем на учениях «Электрон-75» и «Импульс-76» изыскивались и опробовались различные пути повышения эффективности ведения РЭБ, наиболее целесообразные способы боевого применения сил и средств РЭП. Опыт этих учений, а также анализ боевых действий в странах Азии и Африки, привел к выводу о необходимости переноса основных усилий РЭБ в тактическое звено – к группировкам войск и отдельным подразделениям. Это было связано с тем, что наиболее острые проблемы возникали именно на поле боя, где противник использовал мобильные и маломощные средства связи и РЛС.

Главным событием стало создание Центра комплексного технического контроля при Генеральном штабе ВС СССР в Москве в 1989 году. Этот центр запустил многопозиционную автоматизированную приемно-пеленгационную сеть, охватывающую территорию страны. Это стало прорывом, позволившим перейти от разрозненной радиоразведки, проводимой отдельными подразделениями, к созданию единого информационного поля. Данные с многочисленных пеленгационных станций со всей страны собирались в центральном узле, где с помощью вычислительной техники обрабатывались, коррелировались и анализировались. Это позволяло не только точно определять местоположение источников излучения, но и классифицировать их по типу, мощности и характеру работы, формируя полную картину электронной обстановки в реальном времени. Такая централизованная система управления радикально повысила эффективность разведки и позволила оперативно передавать данные тактическим подразделениям для последующего подавления. Одновременно усилилась интеграция РЭБ в единый контур управления войсками. РЭБ больше не рассматривалась как отдельный род войск, работающий в своем режиме, а становилась неотъемлемой частью планирования и проведения операций всех родов войск – сухопутных войск, ВКС и ВМФ. Это достигалось через создание специальных штабных отделов и секторов РЭБ на всех уровнях командования, от армейского до стратегического.

Такая структура обеспечивала непрерывный диалог между командирами, ответственными за РЭБ, и командирами, принимающими тактические решения, что позволяло максимально эффективно использовать возможности РЭБ для достижения боевых целей. Дальнейшее развитие РЭБ вплоть до дня сегодняшнего свидетельствует о том, что средства радиоэлектронного подавления становятся практически единственным эффективным средством воздействия на противника.

Состоявшие на вооружении средства РЭБ разработки 1980-х годов представляли собой высокоэффективные многофункциональные комплексы, которые позволяли в короткие сроки вскрывать и подавлять электронные средства противника. Они были основаны на принципах цифровой обработки сигналов, адаптивности и высокой степени автоматизации. Таким образом, период 1970–1989 годов знаменует собой переход РЭБ из разряда вспомогательного средства в статус ключевого элемента современного противоборства. Организационная структура становится централизованной, автоматизированной и способной формировать единое информационное поле для всей страны. Тактика усложняется до уровня межвидовой кооперации и комплексного применения РЭБ с другими родами войск. Технологии получают мощный импульс развития благодаря цифровизации, что позволяет создавать адаптивные, многофункциональные и мобильные комплексы, способные решать широкий круг задач. Именно в этот период была создана передовая научно-техническая школа РЭБ, которая легла в основу всех последующих достижений в этой области.

Начало XXI века и десятилетие 2010-х годов ознаменовали собой возвращение радиоэлектронной борьбы в число приоритетных направлений развития вооружений Российской Федерации. После периода регресса, вызванного экономическими трудностями 1990-х и начала 2000-х годов, государство предприняло целенаправленные усилия по модернизации и возрождению своего потенциала в области РЭБ. Этот период характеризуется мощным технологическим ренессансом, связанным с внедрением принципиально новых подходов, таких как модульная архитектура, сетцентричность и автоматизация принятия решений. Основой для этого послужили целевое государственное финансирование в рамках Государственной программы вооружений (ГПВ) на период до 2020 года, а также опыт боевых применений в Сирии, который стал своеобразным «полигоном» для новых систем

Технологический прорыв, произошедший в этот период, можно охарактеризовать как настоящую революцию. Она базируется на нескольких ключевых технологических парадигмах:

*Программно-определяемая радиосвязь (Software-Defined Radio – SDR):* Этот подход позволил отказаться от жестко закодированных функциональных блоков в пользу программного управления. В основе SDR лежит идея модульной архитектуры, где базовая аппаратная платформа служит долго, а функциональные блоки (прошивки) могут быть обновлены или заменены независимо, чтобы противостоять новым типам помех или выполнять новые задачи. Это кардинально сократило жизненный цикл разработки комплексов РЭБ с 15 – 20 лет до 4–5 лет, что соответствует темпам развития электроники.

*Высокоскоростная обработка данных (FPGA):* Использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) обеспечивает мгновенную обработку огромных объемов информации, поступающей с антенн. Это позволяет комплексам не просто реагировать на известные типы помех, а в реальном времени анализировать спектр, обнаруживать новые, ранее не встречавшиеся сигналы, классифицировать их и выбирать оптимальный способ подавления.

*Автоматизация принятия решений:* Современные комплексы способны самостоятельно выполнять весь цикл «обнаружение – классификация – подавление». Это снижает нагрузку на операторов и позволяет реагировать на угрозы в считанные секунды.

*Мобильность и быстрое развертывание:* Современные комплексы разрабатываются на высокопроизводительных шасси (КрАЗ, Тигр) и способны к быстрому развертыванию и перебазированию. Время развертывания может составлять менее 15 минут, что обеспечивает высокую выживаемость на поле боя. В этот период было создано и принято на вооружение множество флагманских комплексов нового поколения, которые стали символами технологического прорыва.

Таким образом, период 2010 – 2019 годов стал временем мощного технологического ренессанса РЭБ в России. Благодаря целевому государственному финансированию и сохраненному научному заделу, страна смогла совершить качественный скачок в этой сфере. Организационная структура восстановила свою эффективность, тактика эволюционировала в сторону сетецентричности и коллективной защиты, а технологии вышли на совершенно новый уровень, опираясь на программно-определяемую радиосвязь, ПЛИС и автоматизацию.

Этот период заложил фундамент для того, чтобы в XXI веке снова стать одним из мировых лидеров в области радиоэлектронной борьбы.

С 2020 года начинается современный этап в развитии средств РЭБ ВС РФ, который характеризуется интенсивным боевым применением, адаптацией к новым угрозам и переходом к следующему уровню технологической эволюции – когнитивным и автономным системам. Опыт боевых действий в Сирии и на Украине стал главным катализатором изменений, продемонстрировав высокую эффективность современных комплексов и выявив новые вызовы со стороны противника. Этот период знаменует собой утверждение РЭБ в статусе одного из ключевых технологических и тактических факторов успеха на современном поле боя. Организационная структура достигает своего пика интеграции, тактика становится динамичной и адаптивной, а технологический вектор смещается в сторону искусственного интеллекта (ИИ). Организационно-структурные изменения на этом этапе направлены на дальнейшую интеграцию РЭБ в единый контур управления тактического звена. Высокая эффективность применения РЭБ в реальных боевых условиях окончательно убедила военное руководство в ее стратегической важности. Создаются специализированные подразделения, оснащенные передовыми комплексами, которые входят в состав бригад и дивизий. Это позволяет обеспечивать непрерывное сопровождение войск и объектов, а также оперативно реагировать на возникающие угрозы. Тактическое применение РЭБ становится динамичным, гибким и основанным на боевом опыте.

*Сирия (2015 – 2024).* Начиная с 2015 года, Российская Федерация применила в Сирии свои военно-морской базу в Тартусе и авиабазу в Хмеймим. Комплексы РЭБ успешно подавляли атаки «роев» БПЛА на авиабазу Хмеймим, демонстрируя свою эффективность против новой и весьма опасной угрозы. Также в Сирии были применены переносные комплексы «Стилет» и «Ступор» для захвата вражеских дронов с последующим изучением их технических характеристик и систем управления. Защита морской базы в Тартусе осуществлялась комплексом «Красуха-С4» для противодействия авиационным угрозам. Опыт Сирии позволил отработать новые тактические приемы, алгоритмы работы и получить бесценную обратную связь для доработки существующих систем и разработки новых.

*Специальная военная операция на Украине (с 2022 г.).* Массированное применение РЭБ стало одной из ключевых особенностей этого

конфликта. Самой очевидной и насущной угрозой, которая потребовала немедленного и масштабного реагирования, стало массированное применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Противник получил доступ к различным типам дронов, от относительно простых гражданских моделей до сложных военных систем, таких как турецкие Bayraktar TB2 и западные образцы, поставляемые странами НАТО. Эти беспилотники использовались для решения широкого круга задач: от низкоорбитальной разведки и корректировки огня артиллерии и ракет до совершения прямых ударов по ценным целям. Особенно сложной оказалась угроза применения «роев» БПЛА – больших групп одновременно летящих дронов, которые создавали проблемы для стандартных средств защиты, ориентированных на обработку одной цели за раз. Эта ситуация заставила переоценить тактические подходы и сосредоточить усилия на разработке и применении мощных и адаптивных средств подавления, способных воздействовать на множество целей одновременно и создавать надежные защитные зоны вокруг войсковых подразделений и техники. По данным Министерства обороны РФ, значительная часть сбитых дронов была нейтрализована именно средствами РЭБ. Вторая важнейшая задача – подавление систем наведения высокоточного оружия (например, американских HIMARS и снарядов Excalibur), что осуществляется через воздействие на их GPS/ГЛОНАСС-приемники с помощью комплексов типа «Поле-21». По некоторым оценкам, до 90% поставленных США управляемых ракет и БПЛА были нейтрализованы, причем значительная часть – именно средствами радиоэлектронного подавления. Также активно применяются средства защиты от радиоуправляемых мин и артиллерийских снарядов с радиовзрывателями, например, комплекс «Ртуть-БМ». Эффективность защиты подразделений средствами РЭБ оценивается в ~70% случаев. Боевой опыт на Украине подтвердил статус РЭБ как решающего фактора, способного влиять на исход отдельных сражений и операций в целом.

Технологический аспект текущего этапа определяется переходом к следующему поколению РЭБ, основанному на искусственном интеллекте (ИИ). Мы стоим на пороге эры когнитивных систем РЭБ, которые кардинально отличаются от предыдущих поколений.

Искусственный интеллект (ИИ): позволяет создавать когнитивные системы, способные не просто реагировать на известные типы

помех, а обучаться и адаптироваться к изменяющейся электронной обстановке. ИИ-алгоритмы могут анализировать огромные массивы данных о сигналах, выявлять закономерности, предсказывать действия противника и автономно выбирать оптимальный способ подавления цели из всего арсенала доступных методов. Параллельно идет работа по миниатюризации средств РЭБ для создания носимых и интегрируемых в экипировку отдельных военнослужащих средств индивидуальной защиты. В 2026 году радиоэлектронная борьба остается одним из ключевых технологических направлений развития оборонных систем, формируя так называемый «невидимый фронт» современного противоборства. Россия стремится сохранить и укрепить свои позиции в этой области, используя опыт боевых действий и инвестируя в самые передовые технологии. Будущее РЭБ лежит в области полной автоматизации и автономии, где когнитивные системы на базе ИИ, космические комплексы и глубокая интеграция в единую информационно-ударную сеть сделают РЭБ не просто средством поддержки, а полноценным ударным инструментом, способным влиять на исход операций без прямого применения традиционных огневых средств.

### **3. Технологические вехи и этапы эволюции средств РЭБ**

История развития радиоэлектронной борьбы (РЭБ) представляет собой последовательную смену технологических укладов, каждый из которых характеризовался принципиально новыми подходами к формированию, обработке и излучению электромагнитных сигналов. Анализ эволюции технико-тактических характеристик позволяет выделить четыре ключевых этапа, отражающих прогресс от аналоговых систем к когнитивным сетям.

1. *Этап аналоговых систем (до 1990-х годов).* Первоначальный период развития характеризуется преимущественно аппаратной реализацией функциональных возможностей. Основу комплексов составляли широкополосные ламповые передатчики и аналоговые фильтры, что накладывало существенные ограничения на массогабаритные показатели и энергопотребление. Подстройка рабочих частот осуществлялась механическим способом или посредством электромеханических реле, что обеспечивало низкое быстродействие и не позволяло оперативно реагировать на маневр частот противника. Функционал систем был жестко зафиксирован на этапе производства. Типичными представителями данного этапа являлись станции 1970–1980-х годов, осна-

щенные непрограммируемыми схемами и требующие значительного времени для подготовки к работе.

2. *Этап цифровых систем (2000-е годы)*. Переход к цифровым технологиям стал революционным шагом, обусловленным внедрением методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) и программируемых синтезаторов частоты. Это позволило кардинально расширить диапазон мгновенных перестроек частоты и разнообразить виды формируемых помех. Ключевой инновацией стало появление систем с программно-определяемой архитектурой (SDR), где функционал определяется программным обеспечением, а не аппаратной частью. Модуляция помех приобрела адаптивный характер: вместо узкополосного подавления стало возможным использование сложных сигналов с фазовой манипуляцией и широкополосных шумовых воздействий, что повысило эффективность противодействия защищенным каналам связи.

3. *Этап сетевых и мобильных комплексов (2010-е годы)*. Данный период ознаменовался интеграцией средств РЭБ в единое информационное пространство и повышением их мобильности. Произошло объединение разрозненных источников помех в связанные комплексы и мобильные модули, объединенные единым контуром управления. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) были интегрированы в качестве носителей средств РЭБ (например, комплекс «Леер-3» на базе БПЛА «Орлан-10»), что позволило выносить средства подавления непосредственно в зону действия целей. Нормой стало создание сетей РЭБ через тактические комплексы управления (КУН), обеспечивающих обмен данными в реальном времени. Программное управление позволило осуществлять быстрое переключение частот и адаптацию формы спектра под множественные типы целей одновременно. Дальность и эффективность воздействия были увеличены за счет внедрения цифровых усилителей и активных фазированных антенных решеток (АФАР), как в комплексе «Красуха-4», способном создавать зоны подавления на расстоянии сотен километров.

4. *Этап когнитивных систем и конвергенции технологий (2020-е годы)*. Современный этап развития определяется интеграцией алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) и сближением средств РЭБ с кибернетическим оружием. Когнитивные системы РЭБ способны осуществлять автоматическое распознавание угроз, классификацию сигналов и оптимизацию параметров помех в реальном времени без вмешательства оператора. Наблюдается формирование совместных

решений в области РЭБ и киберразведки, позволяющих выявлять уязвимости в сетевой инфраструктуре противника через анализ радиоизлучений. Перспективным направлением считается внедрение квантовых технологий, включая квантовые приемники и средства подавления, обеспечивающие сверхбезопасную связь и противодействие квантовым каналам передачи данных. Также развивается концепция цифровых радиоразведывательных цепей, предполагающая облачное хранение спектрограмм и возможность ретроспективного анализа радиообстановки.

#### **4. Перспективные направления развития радиоэлектронной борьбы ВС РФ**

Дальнейшее совершенствование потенциала радиоэлектронной борьбы (РЭБ) Вооруженных Сил Российской Федерации обусловлено необходимостью адаптации к стремительно меняющейся структуре современных вооруженных конфликтов. Стратегический вектор развития данной области направлен на глубокую цифровизацию комплексов, повышение их автономности и конвергенцию со средствами кибернетического противодействия. Ключевыми приоритетами на среднесрочную и долгосрочную перспективу являются следующие направления:

1. *Внедрение когнитивных технологий и алгоритмов искусственного интеллекта.* Переход к системам РЭБ нового поколения предполагает массовую интеграцию методов машинного обучения и нейросетевого анализа. Когнитивные радиоэлектронные системы смогут осуществлять автоматизированное сканирование электромагнитного спектра в реальном времени, выполнять классификацию типов излучений и автономно оптимальных алгоритмов подавления без вмешательства оператора. Это позволит существенно сократить время реакции на новые угрозы, такие как модификации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или адаптивные сети связи, обеспечивая превосходство в скорости принятия решений по сравнению с человеческим фактором.

2. *Повышение мобильности и роботизация комплексов.* Приоритетным направлением является развитие беспилотных платформ и модульных станций РЭБ. Концепция предполагает создание специализированных БПЛА, оснащенных автономными модулями радиоэлектронного подавления («барражирующие глушилки»), способных действовать в составе роев. Параллельно ведется разработка легких мо-

бильных комплексов на базе бронированной техники, обеспечивающих высокую выживаемость и возможность быстрого развертывания на переменных участках фронта. Разнообразие средств РЭБ повысит их живучесть и затруднит их обнаружение и подавление противником.

3. *Обеспечение технологического суверенитета и развитие компонентной базы.* Критической задачей остается полное импортозамещение элементной базы. Приоритет отдается разработке отечественных микрочипов, навигационных модулей (ГЛОНАСС) и приемопередающих устройств диапазонов C-Band и выше, устойчивых к внешним санкционным ограничениям. Рекомендуется расширение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в области перспективных технологий, включая квантовые приемники для сверхчувствительной разведки, терагерцовую радиолокацию и средства оптической РЭБ, что создаст задел для будущих поколений вооружения.

4. *Конвергенция средств РЭБ и кибернетического противодействия.* Перспективным направлением считается создание единого информационно-разведывательного поля, объединяющего возможности РЭБ, радиотехнической разведки и киберразведки. Интеграция данных позволит выявлять компьютерные системы противника посредством анализа радиоаномалий и осуществлять комбинированные воздействия. Например, возможно проведение импульсных атак, одновременно нарушающих каналы связи и дестабилизирующих сетевую инфраструктуру управления войсками противника, что расширит спектр задач от физического подавления до информационно-психологического воздействия.

5. *Совершенствование системы профессиональной подготовки личного состава.* Анализ боевого опыта подтвердил, что эффективность даже самых совершенных комплексов напрямую зависит от квалификации операторов. Необходимо модернизировать программу обучения, сделав акцент на цифровой радиотехнике, основах программирования и киберзащите. Внедрение тренажерных комплексов виртуальной реальности и проведение регулярных учений в условиях сложной радиоэлектронной обстановки позволят поддерживать высокий уровень готовности специалистов к работе с когнитивными системами и противодействию современным угрозам.

Реализация указанных мероприятий позволит не только сохранить достигнутый паритет, но и обеспечить технологическое превос-

ходство ВС РФ в электромагнитном спектре на будущих этапах развития вооруженных конфликтов.

### **Выводы.**

За период с 1904 по 2026 год РЭБ прошла путь от вспомогательного средства нарушения радиосвязи до ключевого фактора, определяющего живучесть войск и успех операций в целом. Исторический опыт, начиная с Русско-японской войны и заканчивая специальной военной операцией на Украине, подтверждает, что превосходство в электромагнитном спектре зачастую является необходимым условием для достижения превосходства в огне и маневре. Несмотря на успехи, сохранение лидерских позиций требует решения критических задач, главными из которых являются технологический суверенитет (импортозамещение микроэлектронной компонентной базы) и подготовка квалифицированных кадров, способных управлять сложными цифровыми комплексами. Без решения проблемы зависимости от иностранных компонентов устойчивость развития отрасли в условиях санкционного давления остается уязвимой.

Радиоэлектронная борьба ВС РФ к 2026 году восстановила статус одного из мировых лидеров в данной сфере. Однако дальнейшее развитие требует смещения акцента с количественного наращивания средств на качественное совершенствование элементной базы, внедрение технологий ИИ и глубокую интеграцию РЭБ в единый контур управления войсками. Только комплексный подход, сочетающий передовые технологии с отработанной тактикой и кадровым обеспечением, позволит сохранить доминирование в «невидимом фронте» современного противоборства.

### ***Список использованных источников***

1. Радиоэлектронная война: невидимая схватка в эфире. <https://rostec.ru>, 05.04.2019
2. Из истории радиоэлектронной борьбы. <https://topwar.ru>, 20.01.2016
3. Комплексы РЭБ в зоне СВО. <https://rg.ru>, 24.04.2024
4. Новейшие средства радиоэлектронной борьбы, применяемые в ходе специальной операции. <https://cyberleninka.ru>, 2022

**Секция 3**  
**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ РЭБ**  
**И СПОСОБЫ ПРОТИВОБОРСТВА**

---

УДК 623.746.4-519

**А. Ю. Бердников, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

**БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ**  
**С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**  
**В ПОЛЁТЕ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к использованию различных видов беспилотных летательных аппаратов, рассмотрен опыт их создания и эксплуатации, пути повышения энергообеспечения и соответственно увеличение длительности полета.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, солнечная батарея, электролизер, энергообеспечение.

**A. Y. Berdnikov, S. N. Kukankov**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

**UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH THE ABILITY**  
**TO GENERATE ELECTRICITY IN FLIGHT**

*Abstract.* The article considers an approach to the use of various types of unmanned aerial vehicles, examines the experience of their creation and operation, ways to increase energy supply and, accordingly, increase flight duration.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, solar battery, electrolyzer, energy supply.

В последние десять лет беспилотные летательные аппараты приобрели огромную популярность, особенно в наиболее развитых государствах мира. Область применения беспилотников довольно широка. Они активно развиваются, существует большое количество разновидностей этих аппаратов и продолжается создание новых и совершенствование уже существующих. Беспилотные летательные аппараты

(БПЛА) активно используются в различных сферах деятельности. В военном деле их используют для разведки, корректировки огня и нанесения ударов, съемки координат объектов противника, замера расстояний и площадей, они хорошо зарекомендовали себя в различных военных конфликтах.

В этой связи все большее внимание уделяется характеристикам БПЛА, их универсальности, возможности выполнять широкий спектр задач в течение длительного времени, возможность контролировать обстановку и доставлять грузы с различными массогабаритными характеристиками на большие расстояния. Применение новых технических решений влечет за собой совершенствование БПЛА, создание новых видов летательных аппаратов и новых источников энергии, новых двигательных установок. Развитие этого направления повысит эксплуатационные характеристики летательных аппаратов, увеличит время и соответственно дальность полета, позволит более качественно решать имеющиеся задачи и открывает перспективы новых форм и методов использования БПЛА за счет пополнения запасов энергии в полете. В настоящее время имеется целый ряд таких разработок.

Так известен «Энергонезависимый многоцелевой беспилотный летательный аппарат» (патент RU 2741825, 2021 г.) [1], для пополнения запасов электроэнергии в котором используется кремниевая солнечная батарея, которой покрыт фюзеляж аппарата а на крыльях фюзеляжа с каждого борта размешены вертикальные многолопастные ветрогенераторы.

Этот БПЛА наряду с неоспоримыми достоинствами имеет и ряд недостатков. Как и все подобные аппараты, он зависим от запасов электроэнергии на борту, и не имеет возможности ее генерации в темное время суток и в безветренную погоду.

Также известен «Аэростатический летательный аппарат» (патент RU 2239582, 2004 г.) [2] содержащий заполненный газом легче воздуха, тороидальный баллон с мягкой оболочкой, внутренняя часть которого образует воздушный канал, внутри которого расположены двигатель, выполненный с возможностью обеспечения вращения винта.

Недостатком этого устройства является то, что источник питания находится на земле и связан с двигателем и с аппаратурой управления летательного аппарата кабелем-тросом. Это ограничивает возможности применения летательного аппарата, снижает полезную нагрузку, спектр и эффективность решения задач.

Также разработан «Гибридный беспилотный летательный аппарат» (патент RU 198620, 2020 г.) [3] включающий источник питания в виде солнечной батареи установленной на наружной поверхности корпуса, не менее трех подвижных в радиальном направлении по отношению к оси корпуса аккумуляторных батарей.

Этот аппарат позволяет генерировать и пополнять запас энергии в полете но также не лишен недостатков. Существует сложность управления полетом летательного аппарата за счет изменения центра тяжести аппарата путем перемещения аккумуляторных батарей, а также ограничение накопления электроэнергии только аккумуляторными батареями, которых используется большое количество, что снижает массу полезной нагрузки.

Решение этой проблемы видится в создании беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии, способного длительное время автономно осуществлять эффективное применение различной сменной полезной нагрузки (средств контроля, наблюдения, ретрансляции, поражения и др.), пополнение и накопление запасов электроэнергии различными способами, позволяющими осуществлять эффективное использование БПЛА в любое время суток, имеющего возможность маневрирования по высоте и направлению движения.

Добиться требуемый технического результата можно построив беспилотный летательный аппарат с генерацией электроэнергии (патент RU 2769036, 2022 г.) [4], имеющий эластичный корпус в виде эллипсоида вращения со сквозным осевым отверстием. На верхней поверхности корпуса расположить солнечную батарею, блоки системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и блоки системы связи, внутри осевого отверстия в горизонтальной герметичной плоскости расположить также солнечную батарею, в которой имеется слив в систему сбора дождевой воды. Система сбора дождевой воды, ее хранения и подачи в гидролизер представляет собой емкость, расположенную выше гидролизера, в которой имеется входное отверстие для приема дождевой воды через слив с поверхности солнечной батареи, отверстие стравливания воды при переливании и отверстие, соединенное шлангом с гидролизером. Гидролизер имеет воздушные клапаны настроенные таким образом, что запирают вытекание воды и при увеличении давления газов в процессе выработки у анода кислорода, стравливают его в атмосферу, а собирающийся у катода водород компрессором закачивается в систему сбора и хранения водорода. Система

сбора и хранения водорода, в зависимости от потребностей, может накапливать водород в корпусе, увеличивая подъемную силу беспилотного летательного аппарата с возможностью воспроизводства энергоресурсов и при необходимости поставлять его к топливным элементам для производства электроэнергии. С противоположных сторон корпуса расположены воздушно-винтовые электродвигатели, заключенные в защитный кожух для обеспечения горизонтального движения летательного аппарата.

Процессы управления полетом, применения полезной нагрузки, сбора и передачи получаемой информации, генерирование водорода и контроль состояния запасов электроэнергии осуществляет система управления. Устройство крепления сменного модуля полезной нагрузки, расположенное в нижней части, обеспечивает возможность применения различных технических средств и быструю смену полезной нагрузки для выполнения широкого спектра возможных задач. Посадочное устройство представляет собой жестко закрепленные на корпусе дуги, которые позволяют защитить от удара при посадке системы и блоки летательного аппарата.

Схема беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии, представлена на рис. 1.

Беспилотный летательный аппарат с генерацией электроэнергии работает следующим образом: при получении определенной задачи проводится предполетная подготовка, во время которой производится зарядка аккумуляторной батареи, подключение необходимой сменной полезной нагрузки к устройству крепления, наполняется подъемным газом (водородом) эластичный корпус, заполняется водой система сбора, хранения и подачи воды и гидролизер. Объем подъемного газа определяется в зависимости от массы беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии, массы полезной нагрузки и оптимальной высоты выполнения поставленной задачи. Производится запуск БПЛА.

Горизонтальный полет осуществляется с помощью двух воздушно-винтовых электродвигателей, заключенных в защитные кожухи. Направление движения задается изменением тяги каждого электродвигателя. В процессе полета с помощью блоков системы спутниковой навигации ГЛОНАСС по команде оператора через систему управления происходит определение места нахождения беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии, координаты места посред-

ством блоков системы связи передаются на пункт управления, который командами через систему управления выводит БПЛА в район выполнения поставленной задачи. В процессе полета и для выполнения задачи возможно изменение высоты за счет изменения объема подъемного газа в корпусе.

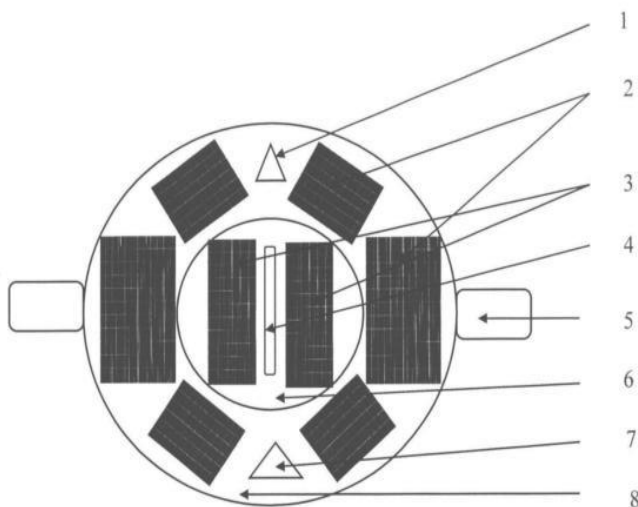


**Рис. 1. Летательного аппарата с генерацией электроэнергии:**

- 1 – блоки системы связи; 2 – солнечные батареи на верхней поверхности корпуса; 3 – солнечные батареи в осевом отверстии; 4 – слив;
- 5 – электродвигатель; 6 – осевое отверстие; 7 – блоки системы спутниковой навигации ГЛОНАСС; 8 – корпус

Энергосистема беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии позволяет пополнять запасы электроэнергии с помощью солнечных батарей на верхней поверхности корпуса и солнечных батарей в осевом отверстии. При обеспечении полного заряда аккумуляторной батареи и всех потребителей электроэнергии, вырабатываемая солнечными батареями электроэнергия направляется на гидролизер.

В гидролизере под воздействием электрического тока, поданного на электроды, погруженные в воду, происходит реакция гидролиза, в результате которой происходит разделение молекул воды на молекулы водорода и кислорода. Полученный таким образом, у анода кислорода, стравливают его в атмосферу, а собирающийся у катода водород

компрессором закачивается в эластичный корпус, если увеличение объема подъемного газа существенно не изменит высоту полета, и не будет мешать выполнению задачи. На рисунке 2 представлена схема работы энергосистемы беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии.

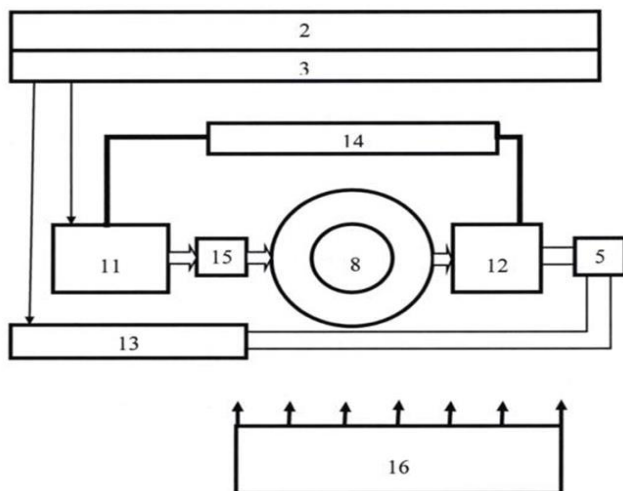


**Рис. 2. Схема работы энергосистемы беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии:**

- 2 – солнечные батареи на верхней поверхности корпуса;
- 3 – солнечные батареи в осевом отверстии; 5 – электродвигатель;
- 8 – корпус; 11 – гидролизер; 12 – топливные элементы;
- 13 – аккумуляторная батарея; 14 – система сбора, хранения и подачи воды;
- 15 – компрессор; 16 – система управления

Объем водорода в корпусе контролируется системой управления с помощью датчиков давления. В условиях отсутствия поступления электроэнергии от солнечных батарей и аккумуляторной батареи обеспечение электроэнергией производится за счет работы топливных элементов, куда поступает запасенный водород из корпуса и атмосферный кислород. Происходит процесс получения электроэнергии, которая отправляется потребителям, также побочным продуктом является тепло и вода. Тепло может быть использовано для подогрева подъемного газа с целью увеличения его подъемных характеристик. Вода по-

ступает в систему сбора, хранения и подачи воды для дальнейшего использования в гидролизере. При попадании беспилотного летательного аппарата с генерацией электроэнергии под воздействия осадков в виде дождя, дождевая вода собирается на поверхности солнечных батарей в осевом отверстии и через слив наполняет систему сбора, хранения и подачи воды.

Все процессы, связанные с генерированием электроэнергии и ее использованием, выполняются и контролируются оператором пункта управления через систему управления и имеющиеся средства связи.

После завершения выполнения задачи подъемный газ стравливается из корпуса и БПЛА осуществляет посадку. Для того чтобы не повредить выступающие части полезной нагрузки применяется посадочное устройство, представляющее собой гибкие дуги, которые не мешают использованию полезной нагрузки и демпфируют удары при посадке.

Беспилотный летательный аппарат с генерацией электроэнергии способен длительное время автономно осуществлять эффективное применение различной сменной полезной нагрузки (средств контроля, наблюдения, ретрансляции, поражения и др.). Имея возможность пополнения и накопления запасов электроэнергии различными способами, позволяет осуществлять эффективное использование БПЛА в любое время суток.

#### ***Список использованных источников***

1. Патент РФ №2741825 от 2021 г. Энергонезависимый многоцелевой беспилотный летательный аппарат / Куканков С.Н., Молдован Д.В.
2. Патент РФ №2239582 от 2004 г. Аэростатический летательный аппарат / Грибенев Л.Л., Шептовецкий А.Ю.
3. Патент на ПМ РФ 198620 от 2020 г. Гибридный беспилотный летательный аппарат / Фурсов В.Б., Писаревский Ю. В.
4. Патент РФ №2769036 от 2022 г. Беспилотный летательный аппарат с генерацией электроэнергии /Козлов В.Н., Бердников А.Ю., Куканков С.Н.

**А. В. Филиппов, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАЙОНОВ СО СЛОЖНЫМИ КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ МЕСТНОСТИ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к использованию альтернативных источников энергии для обеспечения электроэнергией различных объектов в труднодоступной, со сложными климатическими условиями местности, предложены варианты установок для генерации электроэнергии.

*Ключевые слова:* ветроэлектростанция, термоэлементы, солнечные батареи, электролизер, энергообеспечение.

**A. Filippov, S. Kukankov**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

## **ENERGY COMPLEX FOR AREAS WITH DIFFICULT CLIMATIC CONDITIONS**

*Abstract.* The article considers an approach to the use of alternative energy sources to provide electricity to various facilities in remote, difficult climatic conditions of the area, and offers options for installations for generating electricity.

*Keywords:* wind power plant, thermoelectric cells, solar panels, electrolyzer, energy supply.

Сегодня Арктика характеризуется, с одной стороны, огромным объемом разведанных запасов углеводородов (основных источников электроэнергии в мире), а с другой – серьезными проблемами с электроснабжением региона. Самые северные районы России не включены в систему централизованного электроснабжения (по высоковольтным линиям электропередач) и традиционно снабжаются электроэнергией от устаревших дизельных электрогенераторов и небольших угольных станций (рис. 1).

Топливо поставляется в Арктику в рамках так называемого «северного завоза», и в связи с высокой удаленностью регионов севера, ограниченными летним периодом сроками доставки и устареванием существующих дизель-генераторов стоимость электроэнергии на них

получается очень высокой [1]. Кроме того, в связи с частыми перебоями в поставках, местное население вынуждено обеспечивать запасы дизельного топлива в среднем на 1,5-2 года. Дизельные электростанции имеют низкий КПД и очень высокую себестоимость производства электроэнергии, которая доходит до 80-120 рублей за кВт/час.

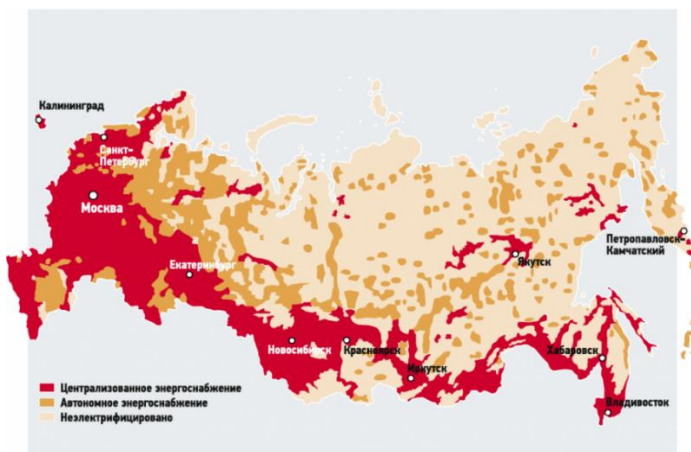


**Рис. 1. Централизованные и автономные системы электроснабжения территории РФ**

Тарифы на электроэнергию в изолированных системах электроснабжения регионов Крайнего Севера сегодня составляют 22–237 руб./кВт·ч, что в 5–55 раз выше средних по России. При этом, для сравнения, если взять среднюю цену электроэнергии в зоне централизованного энергоснабжения по стране – это 3-4 рубля за кВт/ час для конечного потребителя [2].

Включение арктических и прочих отдаленных малонаселенных территорий страны в систему централизованного энергоснабжения еще несколько десятков лет назад было признано неэффективным и слишком дорогостоящим проектом. В то же время высокая себестоимость производства электроэнергии влечет за собой необходимость бюджетных субсидий для сдерживания тарифов для населения (покрытие разницы между тарифом для населения и необходимой валовой выручки). Общий объем государственных субсидий исчисляется сотнями миллиардов рублей, а совокупный объем затрат на энер-

госнабжение всех потребителей 15 регионов Крайнего Севера сегодня равен 1,7 трлн руб.

Дефицит электроэнергии и ее высокая стоимость сильнейшим образом сдерживают темпы развития Арктического региона и делают его менее комфортным и привлекательным для населения. Освоение арктических территорий Российской Федерации, богатых природными ресурсами, затруднено как суровым климатом, так и ограниченностью использования привычных источников электроэнергии. Решение проблемы использования местных, экологически чистых источников получения энергии позволит решить как проблему обеспечения электроэнергией различных объектов в Арктике и северных областях страны, так и проблемы сохранения природы в этом регионе. Использование установок для получения альтернативной энергии особенно актуально для обеспечения жизнедеятельности удаленных объектов. Для таких специфичных условий необходимы особые устройства генерирования электроэнергии, без которой невозможно освоение и развитие этих территорий, эффективная защита от внешних посягательств.

Известна ветроэнергетическая установка [3], содержащая роторный ветрогенератор с вертикальной осью вращения, выполненный в виде модуля с возможностью вертикальной сборки модулей, включающий прикрепленные к несущему цилиндру лопасти ротора ветротурбины, размещенного внутри выполненной соосно с ротором ветротурбины неподвижной системы ветронаправляющих экранов, выполненной в виде вертикальных отклоняющих пластин, ветронаправляющие экраны выполнены с возможностью изменения площади каждой из вертикальных отклоняющих пластин за счет телескопического перемещения их подвижного сектора, лопасти ротора ветротурбины, выполненные плоскими, снабжены завихрителями, выполненными в виде цилиндрически изогнутых полосок, а размещение лопастей ротора ветротурбины относительно несущего цилиндра выполнено с образованием вдоль их основания между ними и несущим цилиндром щелевого диффузора.

Недостатком этого устройства является использование только ветровой энергии, отсутствие возможности накопления энергии и потребления ее в безветренный период.

Известна также гелиоветровая энергетическая установка [4], содержащая лопастную ветровую турбину с вертикальной осью вращения, расположенную внутри ветронаправляющего аппарата с ниж-

ней и верхней крышками, электрогенератор на оси лопастной ветровой турбины, фотоэлектрический преобразователь световой энергии, установленный на верхней крышке, лопастная ветровая турбина выполнена в виде параллельных дисков, скрепленных осевыми отверстиями с поворотным валом, диски образуют пустотелые барабаны, между внутренними поверхностями дисков жестко закреплены вертикальные лопасти, турбина размещена в центре ветронаправляющего аппарата, выполненного в виде равномерно распределенных по окружности вертикальных неподвижных спиралевидных ветронаправляющих экранов.

Недостатками этого устройства является, во-первых, невозможность полностью использовать вырабатываемую электроэнергию в моменты максимальной генерации, во-вторых, невозможность накапливать энергию и использовать ее в моменты пиковых нагрузок и при отсутствии источников альтернативной энергии используемых для генерации, таких как солнечного света и ветра.

Еще известен способ генерации электроэнергии на основе накопления энергии, использующий природную энергию, и система генерации электроэнергии [5], включающий этапы, на которых используют природную энергию для генерации электроэнергии, и используют электростанцию, работающую на природной энергии, для генерации электроэнергии и приводят в действие устройство сжатия воздуха, а затем используют устройство сжатия воздуха для получения сжатого воздуха в качестве аккумулирующей энергию среды с последующим хранением сжатого воздуха в устройстве для хранения воздуха, причем затем сжатый воздух полагают основным источником движущей силы или вспомогательным источником движущей силы для других электростанций.

Недостатком этого способа является необходимость использования нескольких электростанций, больших резервуаров для хранения сжатого воздуха, выдерживающих давление до 120 – 180 атмосфер, что усложняет управление конструкцией системы генерации, повышая ее стоимость.

Устранить перечисленные недостатки позволит создание арктического энергетического комплекса [6], который, используя энергию солнца и ветра, обеспечивает снабжение энергией объектов инфра-

структуры, эксплуатацию средств наблюдения, устройств и механизмов, комфортные условия проживания персонала, при использовании в обитаемом варианте, комплекса, способного за счет излишков генерируемой энергии осуществлять гидролиз воды и накапливать водород, используемый в дальнейшем для производства электроэнергии, тепла и топлива для двигателей механических устройств.

Арктический энергетический комплекс располагается на ажурной пирамидальной вышке, где над техническо-жилым помещением располагается резервуар для хранения водорода, на внешнюю поверхность которого нанесена солнечная батарея, а сверху находятся средства наблюдения, прежде всего радиолокационные станции, помещенные в радиопрозрачный корпус, и камеры оптического и инфракрасного диапазона. В техническо-жилом помещении располагается ветрогенератор, ось вращения которого направлена вертикально вниз между опорами вышки с расположенными на ней модулями лопастей вертикальной сборки, выполненными из стеклопластика для уменьшения их массы. В техническо-жилом помещении расположен также электролизер с запасом воды и топливные элементы, аккумуляторная батарея; система управления и связи. Топливные элементы через компрессор соединены с резервуаром для хранения водорода. Компрессор с системой клапанов и трубопроводов также соединен с находящимся на поверхности земли баллоном высокого давления.

На рисунке 2 представлена схема арктического энергетического комплекса.

На рисунке 3 представлена схема генерации, сбора, хранения и использования водорода с системой клапанов.

Арктический энергетический комплекс работает следующим образом: при состоянии природной среды способствующей генерации электроэнергии, в солнечную погоду солнечная батарея производит выработку электроэнергии, при наличии ветра, вращающего модули лопастей, электрогенератор также подключается к процессу производства электроэнергии. Полученная от этих источников электроэнергия поступает потребителям и обеспечивает работу системы управления и связи, средств наблюдения и жизнеобеспечения арктического энергетического комплекса. При превышении объема вырабатываемой элек-

троэнергии над объемом потребляемой производится зарядка аккумуляторной батареи. Неиспользованная электроэнергия также поступает на электролизер, где запускается процесс генерации водорода, его сбор и закачка в резервуар для хранения водорода компрессором по трубопроводам при открытых соответствующих клапанах.

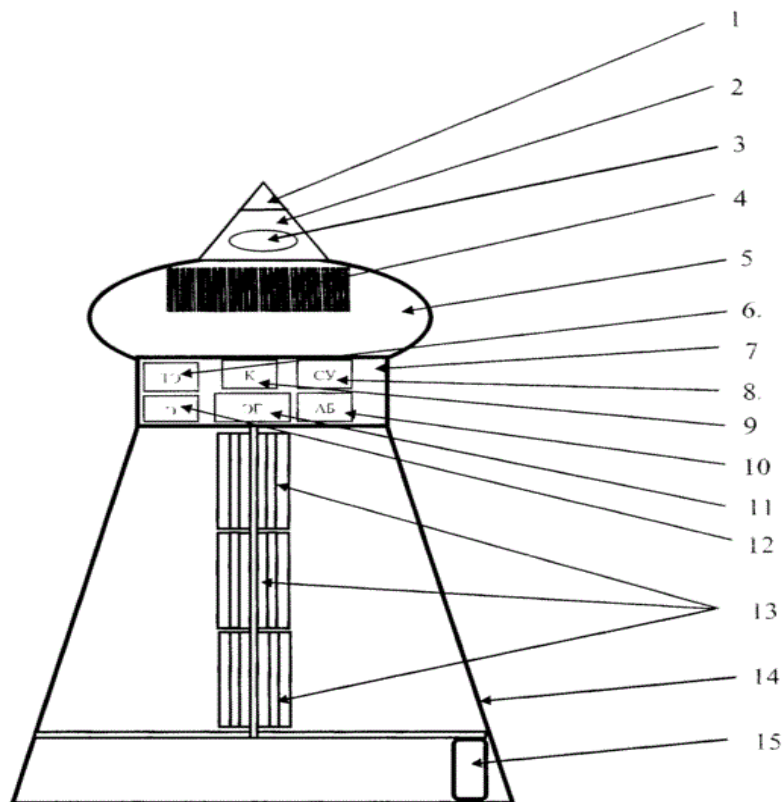


**Рис. 2. Схема арктического энергетического комплекса:**

- 1 – антенны системы связи; 2 – радиопрозрачный корпус; 3 – средства наблюдения; 4 – солнечные батареи; 5 – резервуар для хранения водорода;
- 6 – топливные элементы; 7 – техническое-жилое помещение; 8 – система управления и связи; 9 – компрессор; 10 – аккумуляторная батарея;
- 11 – электрогенератор; 12 – электролизер; 13 – модули лопастей; 14 – ажурная пирамидальная вышка; 15 – баллон высокого давления

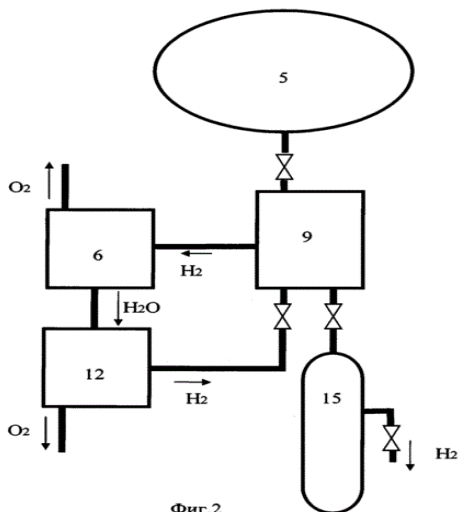


**Рис. 3. Схема генерации, сбора, хранения и использования водорода с системой клапанов**

В темное время суток или года, когда невозможно использовать солнечные батареи для производства электроэнергии и при отсутствии ветра, исключающего поступление электроэнергии и от электрогенератора системой управления и связи, для производства электроэнергии подключаются топливные элементы, использующие для производства электроэнергии водород, накопленный в резервуаре для хранения водорода. Открываются соответствующие клапаны и по трубопроводу за счет избыточного давления в резервуаре для хранения водорода или с помощью компрессора водород поступает на топливные элементы. Топливные элементы генерируют электроэнергию, которая поступает потребителям.

Система управления и связи осуществляет контроль работоспособности всех систем комплекса, управление ими и представление информации на пункт управления по радиосвязи, при работе в автоматизированном и автоматическом режиме. Для контроля параметров система управления и связи использует данные различных датчиков, датчиков давления в резервуаре для хранения водорода и на входе баллона высокого давления, наличия воды в электролизере и др.

## **Выводы.**

Автоматизация всех процессов арктического энергетического комплекса не исключает обслуживание и эксплуатацию человеком. Сохраняется необходимость технического обслуживания систем комплекса, устранение возникающих неисправностей, пополнение запасов воды используемой в электролизере и т.п.

Для этого понадобится доставлять специалистов и использовать специальный транспорт, адаптированный для суровых условий Арктики. Слабое развитие или полное отсутствие инфраструктуры заставляет опираться на имеющиеся возможности. Арктический энергетический комплекс способен решить и транспортную проблему при условии использования двигателей работающих на водороде. При накоплении большого объема водорода компрессором по команде системы управления и связи осуществляется заполнение баллона высокого давления, из которого пополняются запасы используемых транспортных средств.

Построение разветвленной сети арктических энергетических комплексов, получающие электроэнергию за счет альтернативных, экологически чистых источников позволит эффективно осваивать огромные территории богатые различными природными ресурсами. На постоянной основе осуществлять сбор метеорологической информации, отслеживать изменения климата, развернуть сеть ретрансляторов и базовых станций для обеспечения надежной связи. Осуществлять контроль территории и обеспечивать охрану биоресурсов.

## ***Список использованных источников***

1. Змиева К.А. Энергосбережение в промышленности как ключевой механизм снижения энергоемкости ВВП России // Электротехнические комплексы и системы управления. 2013. № 3. С. 1-10.
2. Башмаков И.А. Повышение эффективности энергоснабжения в северных регионах России // Энергосбережение. 2017. № 3. С. 58-72.
3. Патент РФ №2390654 от 2010 г. Ветроэнергетическая установка /Вигаев В.П.
4. Патент РФ №2714584 от 2000 г. Гелиоветровая энергетическая установка /Зайнулин И.Ф.
5. Патент РФ №2583168 от 2016 г. Способ генерации электроэнергии на основе накопления энергии, использующий природную энергию, и система генерации электроэнергии /Чжоу Дэнжун.
6. Патент РФ № 2775104 от 2022 года. Арктический энергетический комплекс /Бердников А.Ю., Куканков С.Н.

**А. М. Лавренев, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ НА МОРСКОМ ТЕАТРЕ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к использованию альтернативных источников энергии для генерации, хранения и обеспечения электроэнергией морских объектов и средств наблюдения за надводной и подводной обстановкой, обеспечивающих длительную автономную работу.

*Ключевые слова:* ветрогенератор, солнечные батареи, эластичный резервуар для хранения воздуха, энергообеспечение.

**A. Lavrenov, S. Kukankov**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

## **ENERGY SUPPLY OF SURVEILLANCE EQUIPMENT AT THE NAVAL THEATER**

*Abstract.* The article considers an approach to the use of alternative energy sources for generating, storing, and providing electricity to offshore facilities and surveillance equipment for surface and underwater environments that ensure long-term autonomous operation.

*Keywords:* wind turbine, solar panels, elastic air storage tank, energy supply.

До недавнего времени распространение возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнца, происходило на земле. Энергия океанов оставалась практически незадействованной. Но времена меняются. Производство экологически безопасной энергии из океанов приобретает все больше сторонников по всему миру. Многие еще впереди. Ожидается, что ветер, волны и течения океанов внесут значительную долю в удовлетворение энергетических потребностей человека.

В океанах кипит энергия. Сила прилива передвигает огромные массы воды. Сильные ветры вызывают большие волны. Почти 90% мировой энергии ветра содержится в турбулентности над поверхно-

стью морских вод. Ветер, волны и течения вместе взятые содержат в 300 раз больше энергии, чем потребляется человечеством в настоящий момент. Долгое время это изобилие не было использовано. В последние годы, однако, мы начинаем приручать эту энергию. Построены первые морские ветряные электростанции. Сотни генераторов строятся, чтобы конвертировать энергию морских течений и волн в электричество [1]. Строятся установки из области альтернативной энергетики, использующей энергию солнца и ветра для получения электроэнергии, с последующим накоплением и хранением сжатого воздуха, как источника для получения электроэнергии во время шторма и отсутствия солнечного света. Полученная электроэнергия используется при эксплуатации средств обнаружения воздушных, надводных и подводных объектов, навигационного оборудования морских районов, обеспечения безопасности судоходства, контроля акватории и обеспечения охраны биоресурсов.

Создание таких систем позволит контролировать обеспечение безопасности судоходства и управление транспортными потоками, что является основными задачами России в сфере развития инфраструктуры в Арктике, определенными Указом Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 №164 «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике до 2035 года».

Для решения поставленных задач необходим комплексный подход, способный объединить все имеющиеся наработки и решения для создания новых технических устройств и способов их энергоснабжения, способных использовать в процессе эксплуатации, имеющиеся в данном регионе ресурсы, быть эффективными и исключить нанесение ущерба природе Арктики.

Разрабатываются новые проекты, так известен способ и устройство генерации электроэнергии на основе операций накопления и разделения энергии с использованием сжатого воздуха [2], где ветровое колесо преобразует кинетическую энергию ветра в механическую энергию; ветровое колесо запускает воздушный компрессор и производит сжатый воздух; сжатый воздух накапливают в резервуаре для хранения воздуха; сжатый воздух приводит в действие воздушный двигатель или паровую турбину; воздушный двигатель или паровая турбина приводит в действие генератор для генерации электроэнергии с обеспечением накопления избыточной электроэнергии.

Используемое сжатый воздух устройство генерации электроэнергии на основе накопления энергии ветра содержит ветровое колесо, увеличивающую скорость коробку передач, воздушный компрессор, резервуар для хранения воздуха, электрораспределитель, воздушный двигатель или паровую турбину и генератор.

Для эксплуатации этого устройства необходимо иметь в наличии воздушный компрессор и воздушный двигатель, а также резервуары для хранения сжатого воздуха, выдерживающие высокое давление, и соответствующей мощности компрессор.

Также разработан способ генерации электроэнергии на основе накопления энергии, использующий природную энергию, и система генерации электроэнергии [3], включающий этапы, на которых используют природную энергию для генерации электроэнергии и электростанцию, работающую на природной энергии, для генерации электроэнергии, приводят в действие устройство сжатия воздуха для использования воздуха в качестве аккумулирующей энергию среды с последующим хранением сжатого его в устройстве для хранения воздуха, причем затем сжатый воздух полагают основным источником движущей силы или вспомогательным источником движущей силы для других электростанций.

Этот способ генерации электроэнергии требует для своей реализации использования нескольких электростанций, больших резервуаров для хранения сжатого воздуха выдерживающих давление до 180 атмосфер, что усложняет управление конструкцией системы генерации, повышает ее стоимость.

Необходимо дальнейшее развитие данных систем и способов, реализующих генерацию электроэнергии из альтернативных источников. Так разработана морская система энергообеспечения средств наблюдения [4], в том числе и гидрометеорологических, навигационных и гидрографических средств, питающихся электроэнергией из источников, использующих энергию солнца и ветра. Обеспечивающих эксплуатацию средств наблюдения и передачу полученной информации. Системы, способной за счет излишков генерируемой энергии осуществлять накопление запасов энергии закачкой воздуха в погруженный в воду эластичный резервуар для хранения воздуха. Погружение резервуара под воду что позволяет компенсировать давление внутри

резервуара глубиной его погружения. Накопленный воздух в дальнейшем используется для производства электроэнергии, в качестве рабочего тела для струйно-реактивных пневматических двигателей.

Морская система энергообеспечения средств наблюдения содержит солнечную батарею, расположенную на пирамидальной вышке плавающей платформы, сверху над солнечной батареей находятся средства наблюдения, блоки системы ГЛОНАСС, блоки системы связи и расчетно-управляющей системы. Расчетно-управляющая система осуществляет контроль работоспособности всех систем, управление ими, сбор и обработку информации от средств обнаружения и передачи этой информации. Ниже расположен электрогенератор с лопастями на валу, расположенном вертикально и направленном вниз между опорами вышки, на оконечностях лопастей располагаются струйно-реактивные пневматические двигатели с системой подачи воздуха. На вышке также расположена аккумуляторная батарея и воздушный компрессор, через систему клапанов соединенный гибкими шлангами с погруженным в воду эластичным резервуаром для хранения воздуха. Эластичный резервуар для хранения воздуха свободно закреплен на тросе и с помощью системы управления меняет глубину погружения для компенсации внутреннего давления и предотвращения разрушения. Устройство регулирования глубины погружения изменяет плавучесть механическим перемещением поршня в открытом с одной стороны полем цилиндре.

На рисунке 1 представлена морская система энергообеспечения средств наблюдения, а на рис. 2 устройство регулирования глубины погружения в эластичном резервуаре для хранения воздуха.

Морская система энергообеспечения средств наблюдения работает следующим образом: при состоянии природной среды, способствующей генерации электроэнергии, в солнечную погоду с помощью солнечной батареи производится генерация электроэнергии, при наличии ветра, вращающего лопасти на валу электрогенератора, электрогенератор также подключается к процессу производства электроэнергии.

Полученная от этих источников электроэнергия поступает потребителям и обеспечивает работу систем связи и ГЛОНАСС, средства наблюдения за поверхностью и воздушной обстановкой гидрометеорологического, навигационного и гидрографического обеспечения, средств наблюдения за подводной обстановкой, расчетно-управляющей системы.

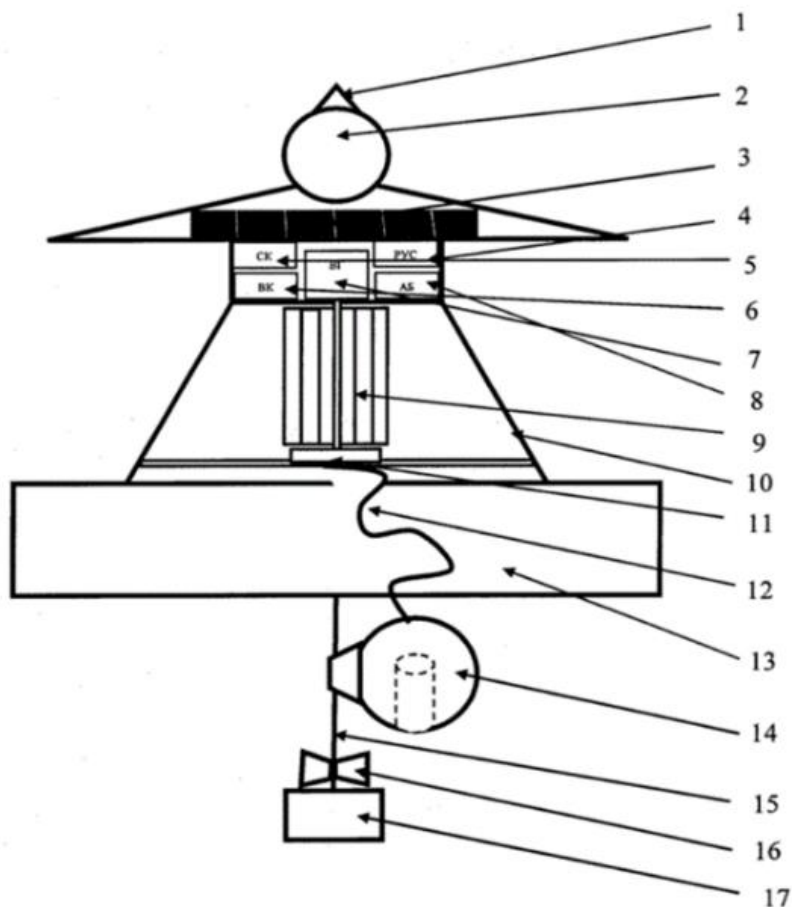


**Рис. 1. Морская система энергообеспечения средств наблюдения:**

- 1 – антенны системы связи и ГЛОНАСС; 2 – средства наблюдения за поверхностью и воздушной обстановкой, гидрометеорологического, навигационного и гидрографического обеспечения; 3 – солнечная батарея; 4 – расчетно-управляющая система; 5 – система клапанов; 6 – воздушный компрессор; 7 – электрогенератор; 8 – аккумуляторная батарея; 9 – лопасти на валу электрогенератора; 10 – ажурная пирамидальная вышка; 11 – система подачи воздуха; 12 – гибкий шланг; 13 – плавающая платформа; 14 – эластичный резервуар для хранения воздуха; 15 – трос; 16 – средства наблюдения за подводной обстановкой; 17 – груз

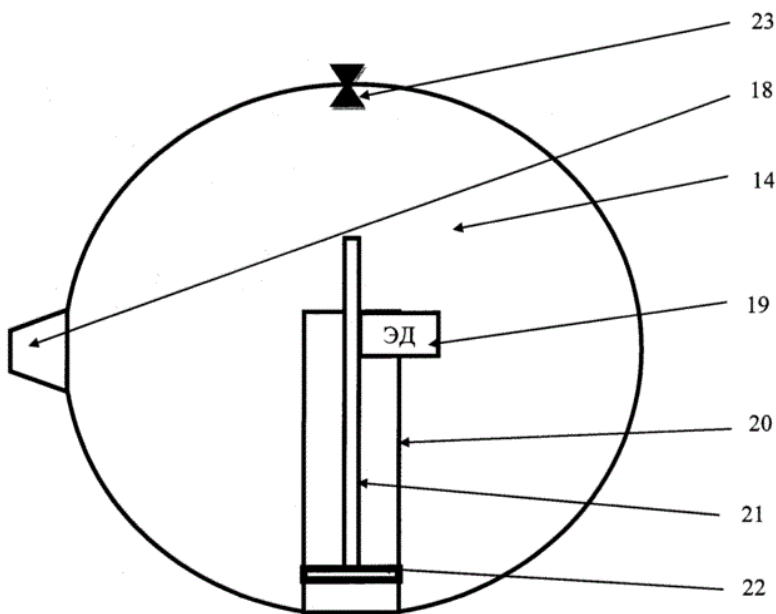


**Рис. 2. Схема устройства регулирования глубины погружения в эластичном резервуаре для хранения воздуха:**

14 – эластичный резервуар для хранения воздуха; 18 – крепление эластичного резервуара для хранения воздуха к тросу; 19 – электродвигатель с червячным колесом; 20 – устройства регулирования глубины погружения; 21 – червяк; 22 – поршень; 23 – клапан

При превышении объема вырабатываемой над объемом потребляемой электроэнергии производится зарядка аккумуляторной батареи. Неиспользованная электроэнергия по команде расчетно-управляющей системы запускает воздушный компрессор, который через систему клапанов по гибким шлангам закачивает воздух в эластичный резервуар для хранения воздуха. Эластичный резервуар для хранения воздуха расположен под водой и свободно закреплен креплением к тросу. При заполнении эластичного резервуара для хранения воздуха повышается давление внутри резервуара и его плавучесть. По мере заполнения эластичного резервуара для хранения воздуха для компенсации плавучести и предотвращения разрушения стенок резер-

вуара устройство регулирования глубины погружения компенсирует повышение плавучести приемом дополнительного балласта. Электродвигатель с червячным колесом, вращая червяк, перемещает поршень, при этом и внутрь устройства регулирования глубины погружения поступает вода и выравнивает давление воздуха внутри эластичного резервуара для хранения воздуха и окружающей его воды. Таким образом, эластичный резервуар для хранения воздуха заполняется до тех пор, пока устройство регулирования глубины погружения сможет компенсировать увеличивающееся давление внутри и плавучесть объемом принятой воды.

При изменении погодных условий, отсутствии солнечного света и ветровой нагрузки, для обеспечения потребителей электроэнергией используются запасы аккумуляторной батареи и запасы сжатого воздуха из эластичного резервуара для хранения воздуха. Расчетно-управляющая система выдает команды на переключение в системе клапанов и по гибким шлангам направляет воздух через систему подачи воздуха на струйно-реактивные пневматические двигатели, расположенные в оконечностях лопастей на валу электрогенератора. Двигатели придают лопастям вращательное движение и электрогенератор вырабатывает электроэнергию для потребителей. По мере расхода воздуха из эластичного резервуара для хранения воздуха его плавучесть снижается и для предотвращения разрушения его окружающей водой с помощью устройства регулирования глубины погружения плавучесть восстанавливается за счет вытеснения поршнем избытка воды из устройства регулирования глубины погружения при вращении червяка электродвигателем с червячным колесом.

Средства наблюдения за поверхностью и воздушной обстановкой гидрометеорологического, навигационного и гидрографического обеспечения, средства наблюдения за подводной обстановкой осуществляют сбор информации, в том числе и об обнаруженных объектах, данные поступают в расчетно-управляющую систему, где полученные данные обрабатываются, объекты классифицируются, информация через систему связи передается на пункт управления. Место системы определяется по системе ГЛОНАСС, что особенно важно для дрейфующих станций, а энергообеспечение средств наблюдения продолжится и при вмерзании платформы в лед.

Развертывание в морской и прибрежной зонах, разветвленной сети систем наблюдения за поверхностью, воздушной и подводной

обстановкой гидрометеорологического, навигационного и гидрографического обеспечения, в том числе использующих морскую систему энергообеспечения, позволит вести постоянное наблюдение как в определенной точке, при установке груза на грунт при разворачивании устройства, так и по маршруту дрейфа, в случае размещения груза в толще воды, собирая, обрабатывая и передавая получаемую информацию. Получаемые данные позволят контролировать обеспечение безопасности судоходства и управление транспортными потоками, отслеживать несанкционированное перемещение подвижных объектов, выполняемые ими задачи, и своевременно принимать меры по пресечению их противоправной деятельности.

### ***Список использованных источников***

1. [https://maritimezone.com/news/view/vozobnovlyaemye\\_istochniki\\_energii\\_v\\_oceanah](https://maritimezone.com/news/view/vozobnovlyaemye_istochniki_energii_v_oceanah)
2. Патент Китая CN 201110259228.9 РФ Способ и устройство генерации электроэнергии на основе операций накопления и разделения энергии с использованием сжатого воздуха.
3. Патент РФ №2583168 от 2016 г. Способ генерации электроэнергии на основе накопления энергии, использующий природную энергию, и система генерации электроэнергии /Чжоу Дэнжун, Чжоу Цзянь.
4. Патент РФ №2778597 от 2022 г. Морская система энергообеспечения средств наблюдения / Бердников А.Ю., Куканков С.Н.

УДК 528.8

**А. А. Драченин, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к использованию различных видов беспилотных летательных аппаратов, рассмотрен опыт создания и эксплуатации, варианты энергообеспечения и пути увеличения длительности полета.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, дирижабль, видео-наблюдение, энергообеспечение.

## **THE USE OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS FROM SHIPS**

*Abstract.* The article considers an approach to the use of various types of unmanned aerial vehicles, examines the experience of their operation and ways to increase the range of application.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, landing, runway.

Разработки беспилотных систем и повышение их энергоэффективности становится все более актуальным в настоящее время. В современном мире все больше стран и компаний заинтересованы в создании беспилотных систем для различных целей, начиная от доставки товаров до выполнения сложных операций в опасных условиях.

Одним из ключевых факторов при разработке беспилотных систем является их энергоэффективность. Беспилотники должны иметь достаточный запас энергии, чтобы выполнять свои функции в течение длительного времени без необходимости частой замены или перезарядки батареи.

В свете стремительного развития технологий, специалисты по разработке беспилотных систем и энергетики активно работают над созданием новых энергоэффективных решений для беспилотников. Они исследуют различные источники энергии, такие как солнечные батареи, топливные элементы и аккумуляторы большой емкости, чтобы обеспечить непрерывное и долгосрочное функционирование беспилотных систем.

Беспилотные системы с энергоэффективностью становятся все более популярными из-за своих многочисленных преимуществ. Они могут быть использованы в различных отраслях, включая сельское хозяйство, медицину, строительство, транспорт и безопасность. Беспилотники, потребляющие меньше энергии, могут работать дольше, осуществлять более сложные задачи и эффективнее использовать ресурсы.

Беспилотные системы имеют свои специфические требования к энергоэффективности. Одной из основных особенностей является необходимость значительно увеличить энергетическую автономность таких систем.

В этой связи все большее внимание уделяется характеристикам беспилотных летательных аппаратов, их универсальности, возможности выполнять широкий спектр задач в течение длительного времени. Применение новых технических решений повысит эксплуатационные характеристики летательных аппаратов, увеличит время и соответственно дальность полета, позволит более качественно решать имеющиеся задачи и открывает перспективы новых форм и методов использования за счет пополнения запасов энергии в полете.

Для достижения высокой энергоэффективности в системах беспилотников используются различные подходы и технологии.

Во-первых, это оптимизация электропривода и энергопотребления. Производители разрабатывают мощные и компактные двигатели, которые потребляют минимум энергии и обеспечивают высокую тягу. Также в системах используется энергосберегающее программное обеспечение, которое оптимизирует работу беспилотника и минимизирует энергопотребление во время полета.

Второй важный аспект – это использование энергоэффективных материалов и компонентов. Производители стараются максимально снизить вес беспилотников, что позволяет сократить энергию, затрачиваемую на поддержание полета. Использование легких и прочных материалов, таких как углепластик, сплавы алюминия и титана, позволяет сократить массу беспилотника без ущерба для его прочности и надежности.

Третья особенность энергоэффективности систем беспилотников – это использование солнечных энергетических систем. Некоторые производители разрабатывают беспилотники, которые способны использовать солнечную энергию для зарядки своих батарей. Это позволяет значительно увеличить их автономность и снизить необходимость в частой замене и перезарядке батарей.

Следует обратить внимание на использование в разрабатываемых моделях беспилотных летательных аппаратов различных вариантов планера, в том числе и крыла обратной стреловидности. Такое крыло обладает очевидными преимуществами. При аналогичной площади подъемная сила у такого крыла больше на больших углах атаки, за счет отсутствия концевых срывов. Соответственно уменьшается и взлетная скорость и дистанция пробега. Индуктивное сопротивление, создаваемое таким крылом меньше, чем создаваемое традиционным стреловидным. Вихрь, образующийся на конце крыла «прямой» стреловидности более интенсивный и создает большее индуктивное сопротивление.

Этими факторами обуславливается высокая управляемость летательных аппаратов с данной конструкцией на предельно малых дозвуковых скоростях, по сравнению с крылом прямой стреловидности.

Высокое аэродинамическое качество позволяет уменьшить размах и площадь крыла. Также применение такого крыла снижает радиолокационную заметность в передней полусфере, за счет изменения характера отражения радиоволны. Получается, что от передней кромки крыла радиоволны отражаются в сторону фюзеляжа и частично экранируются.

Создание новых моделей беспилотных летательных аппаратов, применение новейших достижений аэродинамики, электротехники способствует приобретению новых возможностей по применению и расширению спектра решаемых задач.

Так разработан беспилотный летательный аппарат с генерацией электроэнергии [1], содержащий корпус в виде эллипсоида вращения со сквозным осевым отверстием, солнечной батареей, установленной на верхней поверхности корпуса, аккумуляторной батареей и электродвигателями, корпус выполнен эластичным, сверху его расположены блоки системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и блоки системы связи, в осевом отверстии расположена солнечная батарея, имеющая слив в систему сбора, хранения и подачи воды в гидролизер, который соединен через компрессор с системой сбора и хранения водорода и через клапаны с топливными элементами, также имеется система управления, устройство крепления сменного модуля полезной нагрузки и посадочное устройство.

Существует также способ увеличения продолжительности полета беспилотного летательного аппарата и устройство для его осуществления [2], включающий управление величиной изменения подъемной силы летательного аппарата на основе использования дополнительной подъемной силы, создаваемой конвективными структурами атмосферного пограничного слоя, выполнение поиска и определение местоположения конвективной структуры, с последующим осуществлением входа летательного аппарата в указанную конвективную структуру, подъема в ней за счет восходящего конвективного потока и выходом с поиском очередной конвективной структуры в режиме планирования, поиск и определение местоположения конвективной структуры выполняют с измерением и ограничением высоты полета, вертикальной скорости, угла тангажа и крена беспилотного летательного аппа-

рата и с предотвращением срыва в штопор посредством его комплекса наведения. Подъем летательного аппарата на первоначальном этапе осуществляют до высоты не более 400 м с последующим выключением двигателя после входа в конвективную структуру.

Также интересным, по нашему мнению, представляется беспилотный комбинированный летательный аппарат летательный аппарат легче воздуха [3], содержащий крыло, фюзеляж, корпус, силовую установку с винтовым толкающим движителем, расположенным в хвостовой части фюзеляжа, и систему управления, корпус выполнен в форме летающего крыла – многосекционным из набора стрингеров, закрепленных на жесткой углепластиковой основе, сверху обтянут тонкой пленкой на тканевой основе, представляющей кремниевую солнечную батарею, внутри корпус разделен на герметичные заполненные подъемным газом отсеки и негерметичные отсеки, имеющие воздухозаборник в носовой части, в средней части тепловые элементы для нагрева воздуха и сопло в задней части.

Работы в этом направлении продолжаются, совсем недавно был разработан проект беспилотного летательного аппарата с возможностью пополнения электроэнергии в полете [4], для длительного нахождения в воздухе и применения широкого спектра средств наблюдения.

Заявленный беспилотный летательный аппарат обладает возможностью пополнения электроэнергии в полете, имеет корпус, выполненный в форме летающего крыла обратной стреловидности с нанесенной сверху солнечной батареей, силовую электроустановку с винтовым толкающим движителем, расположенным в хвостовой части фюзеляжа, систему управления, обеспечивающую определение местонахождения беспилотного летательного аппарата, используя спутниковую глобальную навигационную систему ГЛОНАСС/GPS и обеспечение накопления электроэнергии и раздачу ее потребителям. Устанавливается высотомер для определения высоты полета, парашютная система для посадки, система связи для управления и передачи на пункт управления получаемой информации от средств наблюдения. Корпус, выполненный в форме летающего крыла обратной стреловидности с элевонами и килем в кормовой части. Крыло выполнено полым и имеет в носовой части воздухозаборники, а в кормовой сопла. Внутри в средней части расположены аккумуляторная батарея, соединенная с роторным ветрогенератором, на горизонтальном валу которого расположены лопасти. Сверху располагается парашютная система,

а в носовой части корпуса на специальном подвесе крепится сменный набор средств наблюдения. Схема беспилотного летательного аппарата с возможностью пополнения электроэнергии в полете представлена на рис. 1 и 2.

Применение данного беспилотного летательного аппарата происходит в несколько этапов. При подготовке к выполнению задач определяются и устанавливаются на специальном подвесе необходимые средства наблюдения, производится зарядка аккумуляторной батареи. Запускается электроустановка с винтовым толкающим двигателем и производится пуск.

При полете беспилотного летательного аппарата с возможностью пополнения электроэнергии, поток воздуха, который обтекает крыло сверху, оказывается разреженным, а снизу наоборот сжимается. В результате чего и возникает подъемная сила, которая позволяет летательному аппарату лететь.

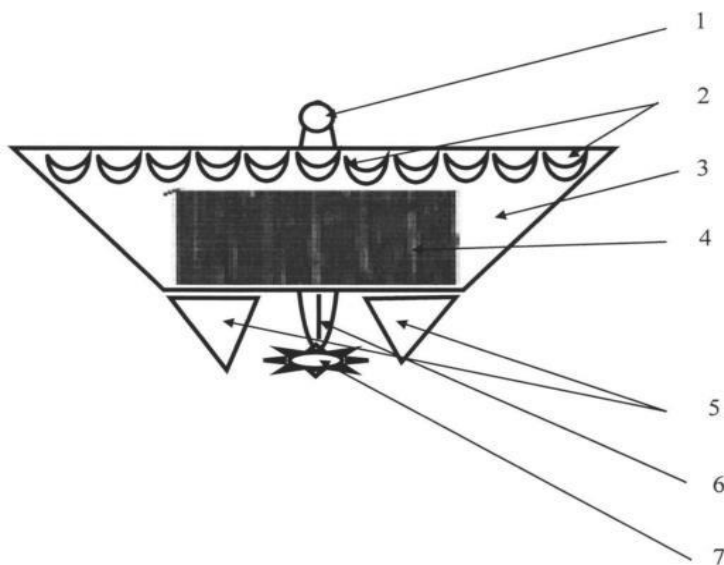


**Рис. 1. Схема беспилотного летательного аппарата с возможностью пополнения электроэнергии (вид сверху):**

1 – средства наблюдения; 2 – воздухозаборники; 3 – корпус;

4 – солнечная батарея; 5 – каркас; 6 – киль;

7 – силовая электроустановка с винтовым толкающим двигателем

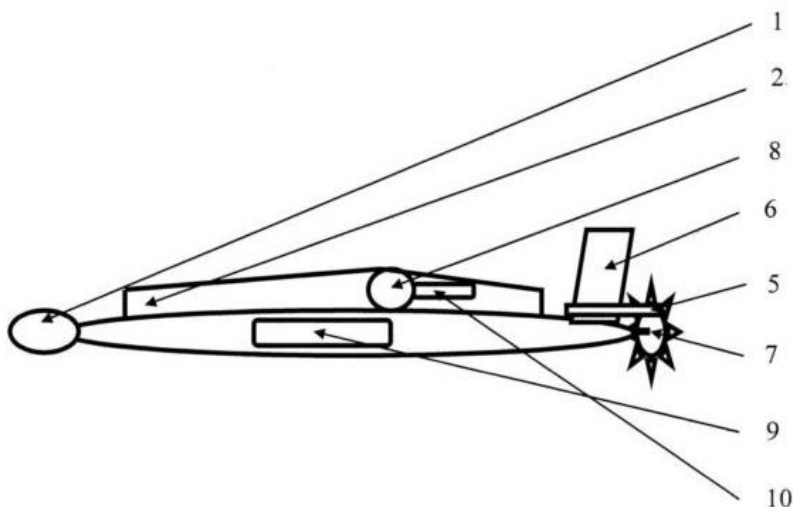


**Рис. 2. Схема беспилотного летательного аппарата с возможностью пополнения электроэнергии (вид слева):**  
 8 – роторный ветрогенератор; 9 – аккумуляторная батарея;  
 10 – парашютная система

Также в передней части крыла величина воздушного давления выше, чем у задней кромки и если в передней верхней части крыла расположить воздухозаборники, воздушный поток устремится в сторону наименьшего давления во внутренней полости крыла и истекает через сопло. Образуется реактивная сила, создаваемая вытекающей струей и придающая дополнительную скорость движению беспилотного летательного аппарата.

Воздушный поток, протекая во внутренней полости крыла, вращает лопадки на горизонтальном валу роторного ветрогенератора и вырабатывает электроэнергию, накапливаемую в аккумуляторной батарее. Пополнение запасов электроэнергии в аккумуляторной батарее производится также за счет электроэнергии, вырабатываемой солнечной батареей в светлое время суток.

Накопленная и вырабатываемая электроэнергия расходуется на работу электроустановки с винтовым толкающим двигателем, установленных средств наблюдения и системы управления.

Полет осуществляется путем набора высоты за счет всех имеющихся источников движения, прежде всего электроустановки с винтовым толкающим движителем до установленной максимальной высоты по высотомеру и последующим планированием до минимальной высоты при выключенной электроустановке. Одновременно происходит накопление электроэнергии в аккумуляторной батарее.

Маршрут движения регулируется системой управления по заранее введенным данным или координатам, получаемым в процессе полета, используя спутниковую глобальную навигационную систему ГЛОНАСС/GPS. Собираемая в процессе эксплуатации информация передается на пункт управления через средства связи системы управления.

Беспилотный летательный аппарат с возможностью пополнения электроэнергии способен длительное время автономно осуществлять эффективное применение различной сменной полезной нагрузки (средств контроля, наблюдения, ретрансляции, поражения и др.) за счет возможности пополнения и накопления запасов электроэнергии.

#### ***Список использованных источников***

1. Патент РФ № 2769036 от 2022 года. Беспилотный летательный аппарат с генерацией электроэнергии / Бердников А.Ю., Козлов В.Н., Куканков С.Н.
2. Патент РФ № 2403184 от 2010 года. Способ увеличения продолжительности полета беспилотного летательного аппарата и устройство для его осуществления / Матвеев Ю.И.
3. Патент РФ № 2485018 от 2013 года. Беспилотный комбинированный летательный аппарат летательный аппарат легче воздуха./ Куканков С.Н., Федорищев О.Н., Скрипка М. Д., Куканков С.С.
4. Патент РФ № №221352 от 20223 года. Беспилотный летательный аппарат с возможностью пополнения электроэнергии в полете. / Бердников А.Ю., Куканков С.Н.

**Д. А. Тращенко, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **МОНИТОРИНГ ПРОТЯЖЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ АЭРОСТАТНЫМИ СИСТЕМАМИ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к использованию аэростатных беспилотных систем, рассмотрен опыт их создания и эксплуатации, пути повышения энергообеспечения и увеличение длительности полета.

*Ключевые слова:* аэростатная беспилотная система, контроль поверхности, энергообеспечение.

**D. Trashchenkov, S. Kukankov**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

## **MONITORING OF EXTENDED TERRITORIES BY BALLOON SYSTEMS**

*Abstract:* The article considers an approach to the use of balloon unmanned systems, examines the experience of their creation and operation, ways to increase energy supply and increase flight duration.

*Keywords:* balloon unmanned system, surface control, power supply.

Обеспечение безопасности, защита рубежей России основное направление деятельности пограничных органов и других силовых структур. С развитием научно-технического прогресса расширяются возможности злоумышленников и нам необходимо постоянно совершенствовать средства и способы противодействия, возникающим угрозам опережая их. Современное развитие науки и техники позволяет создавать современные средства наблюдения, использующие новые разработки. Одним из таких средств является аэростатная система наблюдения, относящаяся к летательным аппаратам, предназначенным для непрерывного наблюдения с воздуха за отдельными участками местности, при решении задач охраны особо важных объектов, природоохранных, пожароохранных и других, в том числе и военных задач, где необходим контроль за площадными и протяженными участками местности. Организация системы наблюдения должна обеспечивать

непрерывное наблюдение за наиболее важными объектами и воздушным пространством, и соответствовать основным требованиям, предъявляемыми к войсковой разведке: целеустремленность, непрерывность, активность, своевременность и оперативность, скрытность, достоверность и точность определения координат разведываемых объектов (целей).

В последние годы идет активное развитие беспилотных авиационных систем (БАС). Одной из областей применения является воздушный мониторинг границ и побережья. Эффективность применения беспилотников для этих задач была оценена уже в достаточно большом количестве стран мира, что стимулирует все новые и новые страны включаться в данную высокотехнологичную гонку.

Особая роль в развитии БАС отводится аппаратам аэростатного типа, которые обеспечивают по сравнению с самолетами и дронами менее мобильное, но значительно более продолжительное наблюдение. Эта старая идея, вновь возрожденная в связи с появлением новых материалов, сенсорных и коммуникационных технологий. Соединенные Штаты с большим воодушевлением вошли в эту сферу, они эксплуатируют несколько крупных систем с большой продолжительностью полета и небольшие тактические системы. Израильская промышленность разработала несколько интегрированных систем. Во Франции, Германии и Великобритании также имеются компании активно работающие в этой области, предлагающие инновационные оболочки, комбинации сенсоров и оперативные концепции.

Применение таких БПЛА активно расширяется как во всем мире, так и в РФ. Американская военная промышленность осваивает новые охранно-разведывательные системы, основанные на использовании дирижаблей. Они займут «нишу» между спутниками-шпионами и наземными радарными установками. У наземных радаров есть «мертвая зона» – они «не видят» аппараты, летящие на небольшой высоте. Будущие управляемые аэростаты, оснащенные локаторами, призваны закрыть эти бреши в охране границ США.[1]

В США также реализуется проект TARS (Tethered Aerostat Radar System – радиолокационная система на привязных аэростатах), с помощью которого создается система тотального контроля всей южной воздушной границы США, предотвращая контрабанду, в том числе и наркобизнес.

Специально для военного ведомства США компанией Naval Electronics & Surveillance Systems (подразделение корпорации «Локхид-Мартин») в рамках проекта TARS разрабатываются, производятся и поставляются аэростаты с РЛС; это аппараты серий– 56К, 275К и 420К. Так, 14 аппаратов серии 56К удерживают станции весом до и 363 кг на высоте 900 м.[2]

В России так же проведены успешные испытания поставленного из Беларуси беспилотный авиационный комплекс воздушной разведки, наблюдения и мониторинга, включающий в себя дирижабль «БАК ЭМ50». Длина беспилотного дирижабля «БАК ЭМ50» составляет 10,2 м, диаметр оболочки – 2,25...2,63 м. Дирижабль может поднимать целевую нагрузку до 10 кг. Максимальная высота полета – 500 м, диапазон скоростей – до 60 км/ч. Время нахождения в воздухе в штиль и скорости ветра до 3,7 м/с – до 11 часов. Радиус действия – до 50 км.

В Вооруженные силы России начали поступать высотные аэростаты разработки Долгопрудненского конструкторского бюро автоматики (ДКБА). Эти аэростаты поднимаются на высоту до 17 км. Продолжительность их барражирования составляет около месяца. Планируется увеличить ее до года. В подвеске аэростатов будут расположены ретрансляционные системы, а также системы радиолокационного мониторинга для систем противоракетной обороны. Их радиовидимость на высоте 40 км достигает 900 км, они не имеют «мертвых зон».

Большая протяженность сухопутной границы и побережья, огромная по площади исключительная экономическая зона России – все это обуславливает необходимость применения новых высокоэффективных средств мониторинга. Одним из функциональных элементов здесь постепенно становятся БАС, отвечающие современным требованиям, предъявляемым к системе наблюдения. Некоторый опыт применения беспилотных систем в охране государственной границы на различных ее участках российские пограничные подразделения уже имеют.

Важнейшими параметрами любого летательного аппарата, в том числе и беспилотного, являются его летные качества. На второе место следует поместить устойчивость к атмосферным воздействиям – не только к влажности, дождю и обледенению, но и к ветру. Однако с точки зрения пользователя главные характеристики, по которым обычно сопоставляют между собой и выбирают БАС – время в полете

и полезная нагрузка. Полезная нагрузка это, прежде всего средства обнаружения, которые используют соответствующие демаскирующие признаки.

Максимальное время летательного аппарата в полете определяется бортовым запасом энергоносителей. Длительность нахождения БАС в воздухе в настоящее время исчисляется скорее минутами и часами, чем сутками, двигатель аппарата использует жидкое топливо либо аккумуляторные батареи. Сравнительно недавно стало реальным использовать для питания двигателей солнечные элементы.

Увеличение времени нахождения в воздухе БАС решают аппараты аэростатного типа – это особый класс БАС, в котором подъемная сила создается преимущественно за счет архимедовой силы, действующей на баллон, заполненный легким газом (как правило, гелием). Этот класс представлен, аэростатами и беспилотными дирижаблями.

Отличительное преимущество таких БАС – большая грузоподъемность и длительное время нахождения в воздухе. Они обеспечивают более высокую надежность и безопасность, чем у самолетов и вертолетов. Меньший, удельный расход топлива и, как следствие, меньшая стоимость полета в расчете на единицу массы полезной нагрузки. Размеры их внутренних помещений могут быть очень велики, а длительность нахождения в воздухе может измеряться неделями. Им не требуется взлетно-посадочной полосы – более того, он может вообще не приземляться, а просто «зависнуть» над землей или осуществлять свою деятельность в привязном режиме.

Радарные дирижабли на высоте в несколько километров долгое время могут курсировать вдоль границ России, над нейтральными водами Мирового океана. Точность и дальность обнаружения ракет противника, его боевых самолетов повысятся многократно. Для дирижаблей разрабатывается и современное бортовое радиоэлектронное оборудование.

Проблема энергообеспечения полезной нагрузки размещенной на борту легко решается для привязных аэростатов. Энергетическое обеспечение осуществляется по кабелю с земли. При помощи челночной системы, можно снабжать аэростат несущим газом, можно доставлять аппаратуру.

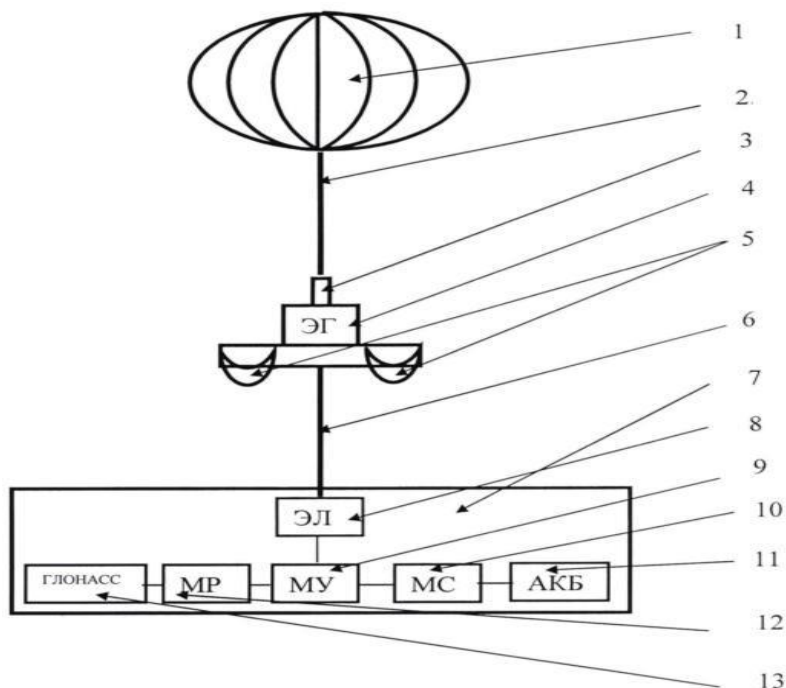
При крейсеровании на высоте 20 км и полезной нагрузке 200 кг общая масса системы составит 4 т, масса троса – 2400 кг при длине

30 км. Трос выполняется из кевлара, и его диаметр порядка 9 мм. Запущена и программа создания привязных аэростатов морского базирования. А для обеспечения охраны пограничной акватории – при определенной модификации – можно рассматривать в качестве базовых серийно выпускаемые Долгопрудненским конструкторским бюро автоматики комплексы наземного базирования – ПА-10000 и ПА-12000.

Научная мысль не стоит на месте, разработки БАС аэростатного типа продолжают. Представителем таких систем наблюдения является – аэростатная система наблюдения разработанная в Московском пограничном институте (патент № 2761326). Система представляет собой корпус, заполненный несущим газом легче воздуха и заключенный в клеть из ремней имеющий лопасти для вращения, клеть жестко соединена тросом с ротором электрогенератора, а статор соединен другим тросом с электролебедкой. Соединение ротора и статора осуществляется через подвесы на постоянных магнитах. На корпусе электрогенератора расположены приборы оптического наблюдения в видимом и инфракрасном диапазонах, которые кабелем, проложенным внутри троса, соединяющего статор электрогенератора с лебедкой связаны с системой связи и управления.

Работает аэростатная система наблюдения следующим образом: в период подготовки к работе осуществляются замеры силы и продолжительности воздушных потоков на предполагаемой высоте эксплуатации устройства в данной местности. Определяется тип и технические характеристики приборов оптического наблюдения для определения оптимальной высоты их эксплуатации. К корпусу жестко крепится трос, корпус заполняется подъемным газом и поднимается вверх. Другой конец троса жестко крепится к ротору электрогенератора, статор которого соединяется с электролебедкой с тросом. В процессе подъема корпус, заполненный несущим газом и имеющий лопасти, под воздействием воздушных потоков начинает раскручиваться. Вращательный момент от вращающегося корпуса, заполненного несущим газом через трос передается на ротор электрогенератора и раскручивает его.

С помощью электролебедки, отпускающей трос, электрогенератор с приборами оптического наблюдения, расположенными на статоре электрогенератора, поднимается на высоту, обеспечивающую эффективное наблюдение в видимом и инфракрасном диапазонах.



Фиг.1

**Рис. 1. Схема аэростатной системы наблюдения**

- 1 – корпус, заполненный несущим газом; 2 – трос, соединяющий корпус с ротором электрогенератора; 3 – ротор электрогенератора;  
 4 – статор электрогенератора; 5 – приборы оптического наблюдения;  
 6 – трос, соединяющий статор электрогенератора с лебедкой;  
 7 – система связи и управления; 8 – электролебедка; 9 – модуль управления;  
 10 – модуль связи; 11 – аккумуляторная батарея; 12 – модуль распознавания;  
 13 – модуль спутниковой глобальной навигационной системы ГЛОНАСС/GPS

Электроэнергия, вырабатываемая электрогенератором за счет вращения корпуса, заполненного несущим газом, обеспечивает питание приборов оптического наблюдения и по кабелю, приложенному внутри троса, поступает в систему связи и управления. Там она распределяется между потребителями, которыми выступают: электроле-

бедка, модуль управления, модуль связи, модуль распознавания, модуль спутниковой глобальной навигационной системы ГЛОННАСС/GPS, а излишки вырабатываемой электроэнергии накапливаются на аккумуляторной батарее.

Приборы оптического наблюдения осуществляют контроль заданной территории в видимом и инфракрасном диапазонах. При обнаружении каких-либо объектов модулем распознавания проводится предварительная обработка изображения и передача его модулем связи на пункт управления. Одновременно передаются координаты аэростатной системы наблюдения из модуля спутниковой глобальной навигационной системы ГЛОННАСС/GPS. Оператор пункта управления имеет возможность через систему управления и связи изменять режим работы и высоту расположения приборов оптического наблюдения, при этом вращающийся корпус, заполненный несущим газом, будет продолжать находиться в диапазоне высот с эффективными условиями для обеспечения генерирования электроэнергии.

Для сокращения потерь при генерировании электроэнергии соединение ротора и статора электрогенератора предлагается осуществить с помощью магнитных подвесов на постоянных магнитах. Отсутствие физического контакта между частями электрогенератора исключает потери энергии на трение и повышает КПД. Отсутствие в предлагаемой схеме подшипников избавляет от использования специальной смазки для работы при низких температурах, что повышает высоту эксплуатации и расширяет географию использования (Арктика, высокогорье и т.п.).

Лопастни на корпусе, заполняемым несущим газом выполнены объемными и также заполняются несущим газом, они имеют изогнутую форму для придания вращательного момента в одном направлении.[3]

Аэростатная система наблюдения может длительное время автономно эксплуатироваться, используя ветер для генерирования электроэнергии и подстраиваться под изменяющиеся погодные условия на различной высоте наблюдения.

Проведенный анализ использования современных аэростатных систем как отечественных, так и зарубежных, а также тенденций их развития показал, что за ними будущее. В настоящее время они позволяют оперативно реагировать на существующие угрозы и способны противостоять только зарождающимся угрозам.

### ***Список использованных источников***

1. Поросков П.П. Статья журнала ВКС, №2 (87) октябрь 2016
2. [http://www.cnews.ru/articles/aerostaty\\_obespechat\\_kontrol\\_vozdushnyh](http://www.cnews.ru/articles/aerostaty_obespechat_kontrol_vozdushnyh)
3. Патент РФ № 2761326 от 2021 г. Аэростатная система наблюдения / Бердников А.Ю., Куканков С.Н.

УДК 528.8

**А. А. Драченин, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ С МОРСКИХ СУДОВ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к использованию различных видов беспилотных летательных аппаратов, рассмотрен опыт их эксплуатации и пути увеличения дальности применения.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, посадка, взлетно-посадочная полоса.

**A. A. Drachenin, S. N. Kukankov**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

## **THE USE OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS FROM SHIPS**

*Abstract.* The article considers an approach to the use of various types of unmanned aerial vehicles, examines the experience of their operation and ways to increase the range of application.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, landing, runway.

Со второй половины XX столетия в мире отмечается непрерывное совершенствовании БПЛА, улучшаются их тактико-технические характеристики (ТТХ), разрабатываются современные образцы и их применение в различных сферах деятельности.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) корабельного базирования до настоящего времени не получили такого широкого распро-

странения, как БПЛА сухопутного базирования. Только в последние годы активность в этой сфере возросла и приобрела реальные основы в виде ряда успешно реализуемых проектов БПЛА самолетного и вертолетного типа, использующих корабельное базирование и предназначенных для решения разведывательных и других видов задач в интересах военно-морских сил [1].

Эти системы возможны к применению не только на кораблях, но и на других объектах, где обычными способами посадку произвести затруднительно, без рисков для окружающих и ущерба для самого аппарата и навесного оборудования

Все известные способы посадки БПЛА могут быть сведены к следующим основным схемам:

- посадка по-самолетному (на взлетно-посадочную полосу);
- посадка по-вертолетному (на площадку);
- посадка с использованием парашюта;
- посадка в улавливающее устройство [2].

Наиболее известными схемами посадки в улавливающее устройство являются схемы с использованием аэрофинишера. Так известен способ посадки беспилотного самолета на аэрофинишер в котором используют приемный участок подвижного троса, натянутый через направляющие ролики горизонтально посередине между верхними концами двух балок, имеющих механическую связь нижними концами с основанием, а на принимаемом самолете захватывающая трос система расположена позади его центра тяжести, при этом на посадочном режиме траекторию полета самолета формируют так, чтобы зацепление за приемный участок троса происходило при пролете или после пролета над этим участком, после чего выключают воздушный движитель и как можно интенсивнее тормозят самолет до заданной скорости, соблюдая при этом принятые для него ограничения по перегрузке и регулируя выпуск приемного троса, для заданного диапазона скоростей захода на посадку в допустимых условиях эксплуатации конкретного типа самолета [3].

Известен так же способ принудительной посадки беспилотного летательного аппарата вертолетного типа на посадочную площадку корабля при котором выравнивают скорость и курс беспилотного летательного аппарата со скоростью и курсом корабля, стабилизируют беспилотный летательный аппарат в точке зависания над точкой посад-

ки на палубе, летательный аппарат и корабль соединяют посадочным тросом, подаваемым или с борта корабля, или с борта беспилотного летательного аппарата, свободный конец посадочного троса фиксируют в захватном механизме и притягивают летательный аппарат к посадочной площадке корабля, наматывая посадочный трос на лебедку притяга, уводят беспилотный летательный аппарат назад к корме относительно точки посадки с таким расчетом, чтобы посадочный трос отклонился от вертикали на 45-55 град, и создают тормозящее усилие, увеличивая подъемную силу на несущем винте, при этом посадочный трос при притяге удерживают с наклоном на угол 45...55 град к корме [4].

Существует устройство для взлета и посадки беспилотного летательного аппарата, содержащее устройство взлета, устройства спуска на парашюте, посадочную площадку, телескопический манипулятор с четырьмя степенями свободы, консоль, двухплоскостной стабилизатор, устройство захвата строп парашюта, приемную камеру, индикатор, установленные определенным образом. Посадочная площадка содержит сетку-улавливатель и электронные посадочные средства, которые содержат два излучателя света в разных диапазонах частоты излучения с конусообразными диаграммами направленности и видеокамеру. Обеспечивается взлет и посадка беспилотного летательного аппарата в условиях эксплуатации его на кораблях, имеющих ограниченную палубу [5].

Также интересным, по нашему мнению, представляется система посадки беспилотного летательного аппарата самолетного типа, состоящая из интегрированной части, расположенной во внутренней полости фюзеляжа БПЛА и базовой части, установленной на стационарном или подвижном объекте. Интегрированная часть системы содержит трос с якорем. Трос с якорем закреплен на поперечно установленную фюзеляжу силовую трубу. Отсек для троса выполнен в виде вертикально расположенной во внутренней полости фюзеляжа трубы. Устройство, выталкивающее якорь, представляет собой сервомашинку и трубку-направляющую, расположенную внутри вертикальной трубы. Система наведения содержит видеопередатчик и камеру, расположенную в носовой части летательного аппарата строго по курсу летательного аппарата. Базовая часть представляет собой посадочный элемент, выполненный в виде горизонтальной рей, выполненной с возможностью поворота вокруг собственной оси. На базовой части системы БПЛА

самолетного типа установлены метки, выполненные с возможностью определения упомянутой камерой. Обеспечивается точная посадка БПЛА [6].

Работы в этом направлении продолжаются, совсем недавно был предложен очередной проект системы посадки беспилотных летательных аппаратов [7], для обеспечения эффективной безаварийной посадки БПЛА самолетного типа на ограниченные по размеру посадочные площадки.

Система посадки беспилотных летательных аппаратов, состоит из размещенных в фюзеляже беспилотного летательного аппарата самолетного типа лебедки с тросом и якорем, лебедка дополнительно оборудована датчиком силы натяжения троса. Так же в фюзеляже размещаются эластичная газонепроницаемая емкость, внутри которой находится трубчатый теплообменник нагреваемый электрическим нагревательным элементом, к теплообменнику через воздушный клапан присоединен баллон, заполненным сжатым подъемным газом. Работа всех устройств беспилотного летательного аппарата обеспечивает система управления и координируется оператором по радиоканалу. В качестве посадочного элемента используется вывешенный на опорах фал с жестко закрепленными концами. Схема системы посадки беспилотных летательных аппаратов представлена на рис. 1.

Система посадки беспилотных летательных аппаратов работает следующим образом: при минимальном запасе топлива на летательном аппарате осуществляется оповещение оператора о необходимости скорой посадки. Осуществляется подготовка посадочного элемента состоящего из вывешенного на опорах фала с жестко закрепленными концами.

Беспилотный летательный аппарат, по команде оператора полученной через систему управления и связи, снижается на установленную высоту, с помощью лебедки вытравливает из фюзеляжа беспилотного летательного аппарата трос с якорем на конце.

БПЛА барражирует в районе посадочного элемента до осуществления зацепа якорем фала. При зацепе увеличивается сила натяжения троса фиксируемая датчиком силы натяжения троса и системой управления и связи вырабатываются команды на отключение двигателя БПЛА включение электрического нагревательного элемента, нагревающего трубчатый теплообменник и открытие воздушного клапана.

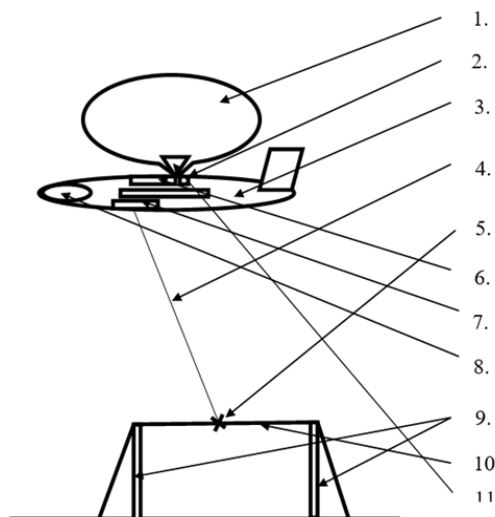


**Рис. 1. Система посадки беспилотных летательных аппаратов:**

- 1 – эластичная газонепроницаемая емкость; 2 – воздушный клапан;
- 3 – фюзеляж беспилотного летательного аппарата; 4 – трос; 5 – якорь;
- 6 – баллон со сжатым подъемным газом; 7 – лебедка; 8 – система управления и связи; 9 – опоры; 10 – фал; 11 – теплообменник

Сжатый подъемный газ (гелий, водород) вырываясь из баллона осуществляет адиабатическое расширение характеризующееся падением температуры подъемного газа. Для повышения температуры подъемного газа поток направляется в трубчатый теплообменник, где повышается температура подъемного газа. Повышение температуры подъемного газа позволяет быстро, используя минимально необходимое количество подъемного газа заполнить эластичную газонепроницаемую емкость подъемным газом из баллона со сжатым подъемным газом. Подъемная сила газа в эластичной газонепроницаемой емкости вывешивает беспилотный летательный аппарат. Смотывая трос с помощью лебедки или со стороны якоря вручную или другими устройствами, осуществляем мягкую посадку летательного аппарата.

Объем подъемного газа для осуществления мягкой посадки рассчитывается индивидуально для каждого типа летательного аппарата с учетом веса фюзеляжа, двигателя и других элементов, а также используемой полезной нагрузки. Необходимо отметить, что при ис-

пользовании беспилотного летательного аппарата с ДВС запас топлива будет расходоваться в полете и масса уменьшится при посадке.

После пополнения запасов топлива, обслуживания других элементов беспилотного летательного аппарата, замены баллона со сжатым подъемным газом, полезной нагрузки при необходимости, летательный аппарат можно повторно использовать, запустив со специального устройства.

Возможность многократно применять БПЛА самолетного типа позволяет эффективно использовать их функциональные возможности. Способность длительное время находиться в воздухе и осуществлять наблюдение за протяженными территориями, выполнять задачи наблюдения, обеспечения связи и целеуказания, а при необходимости и поражения обнаруженных объектов позволяет реализовать все плюсы БПЛА самолетного типа и использовать их в различных физико-географических условиях местности при отсутствии специальных площадок. Открывается возможность использования их с морских и речных судов.

#### ***Список использованных источников***

1. О развитии беспилотных летательных аппаратов корабельного базирования. / А.С. Попов. – М. 2018.
2. Системы адаптивного управления летательными аппаратами / А.С. Новоселов, В.Е. Болнокин, П.И. Чинаев, А.Н. Юрьев. – М. Машиностроение, 1987. 280 с.
3. Патент РФ № 2466913 от 2010 г., Способы взлета и посадки летательных аппаратов и взлетно-посадочная система для осуществления этих способов./ Овинов А.В.
4. Патент РФ № 2620848 от 2017 г., Способ принудительной посадки беспилотного летательного аппарата вертикального типа на посадочную площадку корабля. /Виленчик Л С., Волошин О. В., Николаенко В. Н.
5. Патент РФ № 2694251 от 2019 г., Устройство для взлета и посадки беспилотного летательного аппарата./ Садаков В. А., Каралюн В. Ю., Чупаков М.В.
6. Патент РФ № 2678407 от 2019 г., Система посадки беспилотного летательного аппарата самолетного типа / Барбасов В К., Барбасов К. В.
7. Заявка на изобретение № 2024117227 от 2024 г., Система посадки беспилотных летательных аппаратов / Куканков С. Н.

**А. Ю. Васильев, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С КОРАБЛЕЙ ВМФ И ОГРАНИЧЕННЫХ ПЛОЩАДОК**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к использованию беспилотных авиационных систем различного типа для наблюдения и разведки на море, рассмотрен опыт создания и применения таких систем с ограниченных площадок, варианты запуска и пути увеличения длительности полета.

*Ключевые слова:* беспилотная авиационная система, запуск беспилотных авиационных систем.

**A. Vasiliev, S. Kukankov**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

## **THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FROM NAVY SHIPS AND RESTRICTED SITES**

*Abstract.* The article considers an approach to the use of unmanned aircraft systems of various types for surveillance and reconnaissance at sea, examines the experience of creating and using such systems from limited sites, launch options and ways to increase flight duration.

*Keywords:* unmanned aircraft system, launch of unmanned aircraft systems.

В настоящее время в России принято решение все перспективные корабли, проекты которых разрабатываются под требования ВМФ, должны учитывать размещение БПЛА различного назначения: ударных, разведывательных.

Особенностями эксплуатации БПЛА на кораблях являются: чрезвычайно сложные условия старта и посадки (качка, ограниченность размеров стартовой площадки на корабле, вероятность посадки аппарата на воду и пр.), агрессивная внешняя среда, а также сложность обеспечения устойчивой связи и навигации. Последнее – в том числе и по причине сложного рельефа подстилающей поверхности – огромное водное пространство, на котором практически невозможно осуще-

ствить привязку (ориентирование), что заставляет полагаться в основном на спутниковую и инерциальную навигационные системы, а в прибрежных районах – еще и на радионавигационные системы.

Одним из важнейших вопросов, вставших перед разработчиками БПЛА корабельного базирования, решение которого определяло саму концепцию боевого применения аппаратов данного класса, стал выбор конструктивной схемы беспилотника – самолет или вертолет.

Традиционная, самолетная, схема представляется более технологически простой, что позволило бы создать многофункциональный БПЛА и снизить возможные риски в ходе эксплуатации. Такие аппараты также имеют большие радиус действия и продолжительность полета, чем беспилотники вертолетного типа. Однако применение этих БПЛА с кораблей затруднено ограниченным пространством носителя – старт беспилотника самолетного типа возможен с пусковых установок катапультного типа или с рельсовой пусковой установки при помощи сбрасываемых твердотопливных ускорителей, а его посадка может осуществляться либо при помощи специальных сетей-ловушек или аэрофинишерных устройств, либо же путем прямого приводнения. Все эти способы, как видно, существенным образом ограничивают маневренность корабля и затрудняют одновременное проведение иных операций на его палубе.

Вертолетная схема БПЛА позволяет более органично вписать аппарат на боевой корабль – возможность такого аппарата выполнять взлет и посадку вертикально давала возможность размещать его на кораблях даже малого водоизмещения, упрощала эксплуатацию в процессе его посадки, ускоряя ее, и меньше влияла на маневренность корабля. Однако у такой схемы были и недостатки – сложность самой конструкции, ее высокая уязвимость перед большими нагрузками, связанными с эксплуатацией в морских условиях. Кроме того, у ряда специалистов вызывала опасение вероятность негативного воздействия вибрации, возникающей в полете, на бортовые оптико-электронные системы [1].

Выбор схемы в конечном итоге должен позволять эффективное использование БПЛА в составе корабельного оборудования позволяющее решать большой объем задач:

- ведение радио-, радиотехнической, телевизионной, фотографической, инфракрасной и других видов технических разведок;

- наблюдение за назначенным районом, обнаружение, идентификация, а также уничтожение (при наличии на борту вооружения) целей;
- проведение мероприятий радиоэлектронной борьбы (в том числе подавление радиоэлектронных средств противника);
- целеуказание для корабельных или наземных систем вооружения (в том числе подсветка целей лучом лазера для управления артиллерийскими снарядами и ракетами с лазерной системой наведения);
- поиск мин;
- доставка экстренных грузов специального назначения;
- работа в качестве ретранслятора для систем связи
- наблюдение за морскими экономическими зонами и территориальными водами, а также рыбаоразведка, пресечение контрабанды и экологический мониторинг [2].

В конечном итоге мнение командования основных военно-морских сил стран мира по вопросу выбора схемы БПЛА корабельного базирования разделилось. Но американский флот принял «соломоново решение» и сделал ставку сразу на оба конструктивных типа, причем каждый предназначался для решения наиболее свойственных ему задач.

В нашей стране также развиваются различные направления и создаются аппараты различных схем корабельного базирования. Нам представляется оптимальным объединить лучшие свойства той или иной схемы в одном аппарате, наши разработки опираются на ранее разработанные модели аппаратов.

Так известен самолет вертикального взлета и посадки, состоящий из фюзеляжа, высокорасположенного крыла, включающего центроплан прямоугольной формы в плане и трапециевидные консоли, двух продольных балок, закрепленных под центропланом слева и справа от плоскости симметрии самолета, установленных на передних и задних концах балок подъемных воздушных винтов с вертикальными осями вращения, оснащенных индивидуальными двигателями, хвостового V-образного оперения, толкающего маршевого винта, расположенного позади хвостового оперения и вращаемого собственным двигателем, и четырехопорного колесного шасси, консоли крыла, и хвостовое оперение имеют прямые нестреловидные задние кромки, хвостовое оперение выполнено по схеме перевернутого V, оси вращения элеронов, закрылков и рулей, расположенных на задних кромках крыла и хво-

стового оперения, перпендикулярны продольной оси самолета, двигатель толкающего маршевого винта установлен в мотогондоле над хвостовой частью фюзеляжа [3].

При всех достоинствах этот аппарат не лишен недостатков.

Также известен беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки, содержащий фюзеляж, корпус которого выполнен разъемным, причем части фюзеляжа соединены между собой заклепочными гайками, отсек внутри фюзеляжа для расположения полезной нагрузки, который разделен на два отсека по обе стороны от аккумуляторной батареи, расположенной на центральной части крыла внутри корпуса фюзеляжа, крыло с элеронами, хвостовое оперение, стойки, амортизирующие ударные нагрузки от поверхности, на которую садится летательный аппарат, маршевую винтовую группу, силовую установку, расположенную в корпусе фюзеляжа, подъемные винты для вертикального взлета и посадки с силовой установкой, расположенной под ними и закрепленной на пилон, бортовое оборудование. Подъемные винты для вертикального взлета и посадки установлены на пилонках в панели, расположенной над фюзеляжем, причем для улучшения аэродинамики, а верхней и нижней части панели располагаются подвижные стенки, которые отклоняются перпендикулярно плоскости панели при взлете и посадке и образуют гладкую поверхность в закрытом состоянии при горизонтальном полете, оперение выполнено по П-образной схеме, причем элементы вертикального оперения крепятся к консолям, на которых расположены винты, обеспечивающие поперечную статическую устойчивость [4].

Также интересным, по нашему мнению, представляется летательный аппарат вертикального взлета и посадки, аппарат снабжен крылом или крыльями с жестко закрепленными как минимум двумя прямолинейными элементами, проходящими перпендикулярно через плоскость крыла и соединяющими жестко пару движителей с тягой, параллельной плоскости крыла и направленной поперек крыла, в режиме подъема плоскость крыла и тяга движителей перпендикулярны к земле, в горизонтальный режим аппарат переводится при нарушении равновесия тяги движителей, в горизонтальном полете используется подъемная сила крыла и горизонтальная тяга движителей [5].

Работы в этом направлении продолжаются, совсем недавно был разработан проект устройства запуска беспилотных летательных аппа-

ратов [6], позволяющий обеспечить режим вертикального взлета летательного аппарата самолетного типа с ограниченных по размеру стартовых площадок и сохранение высоких летно-технических характеристик в крейсерском полете.

Устройство запуска беспилотных летательных аппаратов имеет корпус состоящий из полых вертикальных цилиндрических корпусов, которые в верхней части жестко соединены между собой балками, при этом внутри оболочек корпусов расположены двигатели и запас питания, а сверху двигателей, поперек плоскости корпуса, установлены подъемные винты, при этом между цилиндрическими корпусами установлена направляющая с жестко соединенным с ней размыкаемым креплением, устройство также оборудовано системой управления и связи.

Схемы устройства запуска беспилотных летательных аппаратов представлены на рис. 1 и 2.

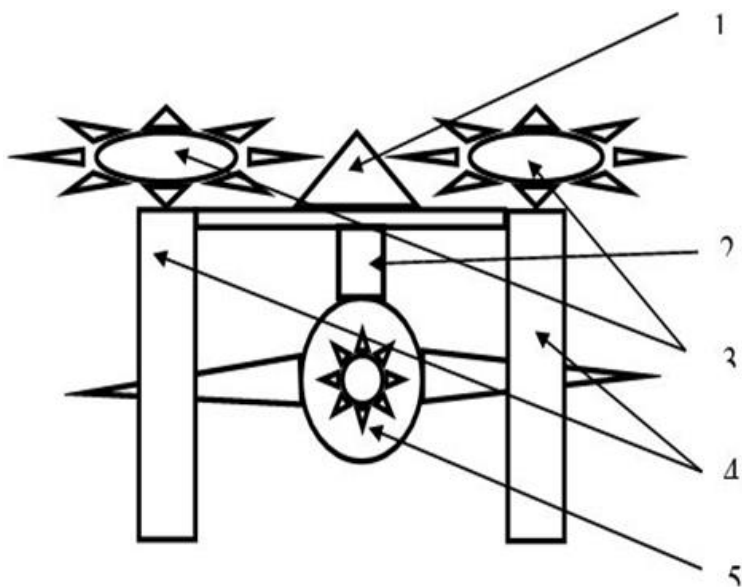


**Рис. 1. Схема устройства запуска беспилотных летательных аппаратов:**

1 – система управления и связи; 2 – направляющая с размыкаемым креплением;

3 – двигатели с подъемными винтами; 4 – цилиндрические корпуса;

5 – беспилотный летательный аппарат самолетного типа

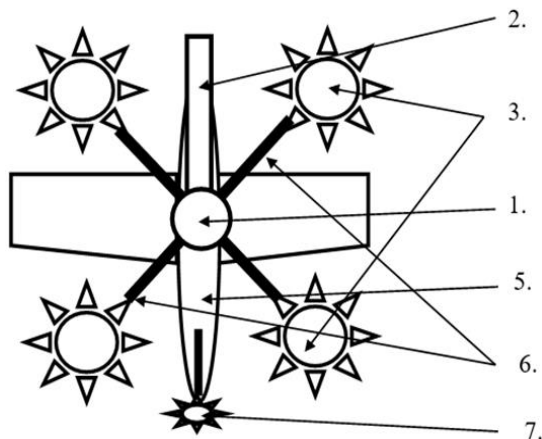


**Рис. 2. Схема устройства запуска беспилотных летательных аппаратов:**

- 1 – система управления и связи; 2 – направляющая с размыкаемым креплением; 3 – двигатели с подъемными винтами; 5 – беспилотный летательный аппарат самолетного типа; 6 – соединительные балки; 7 – двигатель беспилотного летательного аппарата

Устройство запуска беспилотных летательных аппаратов работает следующим образом: для запуска беспилотного летательного аппарата самолетного типа его закрепляют на направляющей с размыкаемым креплением. Дистанционно с пункта управления по радиоканалу через систему управления и связи осуществляется запуск двигателей с подъемными винтами в цилиндрических корпусах. После набора мощности двигателями устройство взлетает. На заданной высоте по команде пункта управления осуществляется запуск двигателя беспилотного летательного аппарата, размыкание крепления. Далее беспилотный летательный аппарат самолетного типа перемещается по направляющей и отправляется в самостоятельный полет.

Направляющая с размыкаемым креплением выполнена изогнутой для того, чтобы при отстыковки и старте беспилотный летательный аппарат самолетного типа не задел крыльями и килем запускающее его устройство, стартовал со снижением и последующим набором высоты.

Далее беспилотный летательный аппарат самолетного типа выполняет самостоятельный полет в соответствии с поставленными ему задачами. Устройство запуска беспилотных летательных аппаратов,

управляемое с пункта управления, возвращается к точке старта и выполняет посадку. Устройство запуска беспилотных летательных аппаратов можно использовать многократно для запуска нескольких летательных аппаратов. Количество запускаемых беспилотных аппаратов будет ограничено запасами топлива для работы двигателей с подъемными винтами, после чего необходима дозаправка (подзарядка) и можно будет продолжить запуск летательных аппаратов.

Использование устройства запуска беспилотных летательных аппаратов позволит реализовать все плюсы беспилотных аппаратов самолетного типа в крейсерском полете и возможности использования ограниченных площадок для взлета.

Способность длительное время находится в воздухе, экономить запас топлива при взлете и осуществлять наблюдение за протяженными территориями обеспечит востребованность устройства запуска БПЛА различными ведомствами.

#### ***Список использованных источников***

1. Корсунский А.С., Маттис А.В., Масленникова Т.Н. О некоторых аспектах защиты информации в беспилотных и роботизированных средствах военного назначения // Морские информационно-управляющие системы. – 2012. – № 1. – С. 16–23.
2. Патент РФ № 180474 от 2018 года. Самолет вертикального взлета и посадки. / Сохи. Н.П.
3. Патент РФ № 216772 от 2023 года. Беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки. / Абдулин И. Н., Гайнутдинов В. Г., Солодяникова А. В.
4. Патент РФ № 279045 от 2023 года. Летательный аппарат вертикального взлета и посадки./ Гарасевич Г. И., Семеновский А.А.
5. Патент РФ № №226535 от 2024 года. Устройство запуска беспилотных летательных аппаратов. / Куканков С.Н.

**Д. А. Тращенко, С. Н. Куканков**  
(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **МНОГОЦЕЛЕВОЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ**

*Аннотация.* В статье рассмотрен подход к созданию беспилотных летательных аппаратов с различными характеристиками, рассмотрен опыт создания и эксплуатации, варианты энергообеспечения, пути повышения эффективности за счет подбора различных элементов летательного аппарата.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, сменное крыло, сменный двигатель, изменяемая полезная нагрузка, энергообеспечение.

**D. Trashchenkov, S. Kukankov**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

## **MULTIPURPOSE COMBINED UNMANNED AERIAL VEHICLE**

*Abstract.* The article considers an approach to the creation of unmanned aerial vehicles with various characteristics, considers the experience of creation and operation, energy supply options, ways to increase efficiency by selecting various elements of the aircraft.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, replaceable wing, replaceable engine, variable payload, power supply.

В настоящее время в качестве основной области применения комплексов с БПЛА рассматривается разведка и доразведка объектов противника, поиск и передача информации о поврежденном и неисправном вооружении, военной и специальной техники, наблюдение поля боя, информационное обеспечение применения огневых и ударных средств в разведывательно-ударных системах, в меньшей степени – для постановки помех, ретрансляции связи и огневого поражения объектов.

Имея широкий спектр применения БПЛА во многом используются как самостоятельные боевые средства. Их возможности и преимуще-

щества в современных войнах делают БПЛА незаменимыми инструментами для решения различных боевых задач, при этом обеспечивая безопасность, эффективность и экономичность использования. Даже при имеющихся средствах противодействия БПЛА, они представляют существенную ударную силу у противоборствующих сторон, перевес во многом будет балансировать как в сторону увеличения количества БПЛА, так и в сторону противодействия им. Использование БПЛА для поражения целей помогло открыть новый вид боевых действий, современные БПЛА позволяют поражать цели более точно с небольшими «побочными эффектами».

Выполнение широкого спектра задач неизменно ставит вопрос об эффективности применения для ее выполнения того или иного типа БПЛА и не всегда имеющиеся в наличии беспилотные аппараты, их летные характеристики полностью соответствуют требуемым для выполнения стоящей задачи.

Основными элементами любого летательного аппарата самолетного типа, влияющими на возможность и качество выполнения вышеперечисленных задач, являются крыло и двигатель.

Крыло летательного аппарата, несущая поверхность летательного аппарата, создающая основную аэродинамическую подъемную силу. Аэродинамические, весовые и прочностные свойства крыла в основном определяются его геометрическими характеристиками (профилем крыла, формой крыла в плане, т.е. формой крыла при виде сверху, размерами) и конструктивно-силовой схемой. В авиастроении используются самые разнообразные крылья, различающиеся формой, конструкцией и размерами. Форма крыла, его размеры в значительной степени определяются назначением летательного аппарата, но их выбор во многих отношениях остается компромиссным [1].

Авиационный двигатель, агрегат силовой установки летательного аппарата, который служит для создания потенциальной энергии и трансформации ее в кинетическую энергию движения летательного аппарата [2].

Двигатель – «сердце» самолета, что не является исключением для военных БПЛА. В настоящее время силовые устройства, широко используемые в БПЛА, включают поршневые или роторно-поршневые двигатели, турбовальные двигатели, турбореактивные двигатели и т.д.

А также электродвигатели с аккумуляторным питанием, обычно используемые в БПЛА малого класса. Силовые агрегаты этих БПЛА могут быть применены к высотным и высокоскоростным БПЛА, разведывательным и ударным БПЛА соответственно.

Из-за различных требований к БПЛА мощность, требуемая силовой установкой БПЛА, также различается, но в целом это все же двигатель малого и среднего размера. С точки зрения существующих силовых агрегатов БПЛА, поршневые двигатели подходят для выполнения разведывательных и наблюдательных задач, для работы на малой скорости, средней и малой высоте. Из-за ограничений системы питания взлетный вес самолета небольшой, обычно несколько сотен килограммов, а некоторые могут достигать 1200 кг.

Турбовинтовой двигатель подходит для средних и высотных БПЛА большой продолжительности, взлетная масса больше, чем у турбореактивных БПЛА.

Турбореактивный двухконтурный двигатель подходит для высотных БПЛА с большой продолжительностью полета.

Электродвигатель подходит для БПЛА взлетная масса которых мала, а время работы ограничено.

У беспилотных летательных аппаратов различного назначения разные требования к силовым устройствам, но все они надеются, что выбранные устройства будут небольшими по размеру, надежными в эксплуатации, дешевыми и удобными в обслуживании. Для одноразовых силовых устройств, таких как беспилотные летательные аппараты, требуется большая тяга и сильная защита от перегрузок, но срок службы может быть коротким; Дроны с длительным сроком службы требуют низкого расхода топлива, длительного срока службы и хороших высотных характеристик; из-за малой мощности системы питания небольшого беспилотного разведывательного самолета, система питания требуется для максимального уменьшения веса при условии удовлетворения требований к мощности и снижения затрат на обработку [3].

Исходя из перечисленного выше не удивительно что появилась идея о создании многоцелевого беспилотного летательного аппарата, позволяющего решать широкий спектр разведывательных и ударных задач за счет использования с одним корпусом различных двигательных установок, видов и форм крыла, различной полезной нагрузки для минимизации расходов материальных средств.

Так появилась беспилотная авиационная система, содержащая наземную станцию управления, пусковую установку. Беспилотное воздушное судно содержит фюзеляж с носовой, средней и хвостовой частями. Носовая часть содержит стабилизатор. Средняя часть содержит надирный фотоаппарат высокого разрешения, тепловизор, мультиспектральная камера, бокс для грузов, а хвостовая часть содержит силовую установку на базе двигателя внутреннего сгорания, виброгасящую мотораму, закрепленную на фюзеляже, стартер-генератор, размещенный на валу двигателя внутреннего сгорания. Обеспечивается увеличение грузоподъемности и продолжительности полета беспилотного воздушного судна.

Но, к сожалению эта система лишена возможности оперативно адаптироваться для решения различных задач, с использованием различной нагрузки, возможности смены и подбора двигателей в зависимости от используемых средств противодействия. Отсутствие возможности использования дополнительной разногабаритной полезной нагрузки вне корпуса летательного аппарата.

Также известен многовариантный беспилотный летательный аппарат, включающий фюзеляж, крыло с центропланом, хвостовое оперение, силовую установку с топливным баком и бортовые системы. Фюзеляж и крыло выполнены в виде набора отдельных заменяемых модулей аналогичного функционального назначения. Корпус каждого модуля выполнен в виде набора силовых элементов и обшивки. Каждый модуль имеет одинаковые стыковочные узлы. В этом устройстве отсутствует возможность смены и подбора различных видов двигателей, использование полезной нагрузки ограничено габаритами отдельного модуля.

Наиболее интересным, по нашему мнению, представляется беспилотный летательный аппарат среднего радиуса действия, включающий корпус, состоящий из носовой, центральной и кормовой частей, крыло, хвостовое оперение, силовую установку, бортовое оборудование и целевую нагрузку, центральная часть корпуса имеет отсек, выполненный с возможностью установки в нем сменного модуля с целевой нагрузкой, носовая часть корпуса выполнена сменной и содержит бортовое оборудование, при этом силовая установка размещена в сменной мотогондоле, установленной на верхней части корпуса ближе к хвостовому оперению, а крыло состоит из двух консолей, каждая из которых имеет корневую часть и сменную концевую часть. В качестве

целевой нагрузки сменного модуля используют средства воздушной разведки, или средства мониторинга, или средства обороны, или средства радиоэлектронного противодействия, или дополнительное топливо, или груз, или авиационные средства поражения. Сменная концевая и корневая части консоли крыла образуют конфигурацию, обеспечивающую полет с дозвуковой скоростью до 900 км/час для многоцелевого БЛА в ударном варианте или длительный полет с дозвуковой скоростью 500-600 км/час для многоцелевого БЛА в разведывательном варианте. Сменная носовая часть корпуса имеет конфигурацию, обеспечивающую размещение бортовой радиолокационной станции или оптико-электронной системы или телевизионной аппаратуры.

В этом устройстве отсутствует возможность смены и подбора различных видов двигателей в зависимости от решаемых задач, использование дополнительной полезной нагрузки ограничено габаритами сменного модуля.

Работы в этом направлении продолжаются, совсем недавно был разработан проект многоцелевой комбинированный беспилотный летательный аппарат [7], для длительного нахождения в воздухе и применения широкого спектра средств наблюдения.

Многоцелевой комбинированный беспилотный летательный аппарат, содержит корпус в форме цилиндра с торцевыми вырезами, во внутреннее пространство корпуса в задней части вставляется двигатель с источником питания. В зависимости от типа решаемой задачи подбирается и соответствующий тип двигателя. При необходимости быстрой доставки средств поражения или оперативной съемки участка местности расположенного на относительно малом расстоянии от места пуска, устанавливается например реактивный двигатель. Для ведения длительной разведки с минимальными демаскирующими признаками нужно использовать электродвигатель с аккумулятором, дополнительно разместив на крыле солнечную батарею. Для использования и доставки на дальнее расстояние большой массы средств наблюдения или средств поражения можно выбрать и использовать двигатель внутреннего сгорания. Объем используемого топлива может определяться объемом корпуса и расширяться за счет использования дополнительных объемов, которые можно разместить вне корпуса в эластичной сумке с застежками. Эластичная сумка позволяет использовать элементы питания двигателей, емкости с топливом, различную полезную нагрузку и средства поражения, имеющие различные форму и

размеры, ограничением здесь будет общая масса всех элементов в сумке.

Форма и площадь крыла подбирается в соответствии с характеристиками двигательной установки для обеспечения более эффективного полета, т.е. скоростью полета БПЛА и характером решаемых задач с учетом массогабаритных характеристик используемой при этом полезной нагрузки. Такое гибкое использование различного вида крыльев позволяет расширить возможности применения и достигнуть максимальной результативности. Требуемые по форме и размеру, заранее изготовленные крылья вставляются в расположенные вдоль фюзеляжа с двух сторон специальные пазы для установки и крепления съемных крыльев. При отсутствии штатных сменных крыльев всегда можно из имеющихся подручных материалов изготовить (вырезать) крылья необходимой формы и профиля. Тоже можно сказать и о корпусе, для которого можно использовать имеющиеся в разряжении пластиковые трубы подходящего диаметра.

Для управления полетом в носовой части устанавливается устройство управления полетом имеющее набор средств наблюдения, управления, связи, навигации и аккумулятор для их электропитания. В качестве средств наблюдения могут быть оптические и тепловизионные камеры. Средства связи обеспечивают обмен информацией с пунктом управления по каналам спутниковой и радиосвязи. Навигация осуществляется с использованием инерциальной или спутниковой (ГЛОНАСС) систем. Дополнительно, возможно комплектование парашютом при планируемом возвращении многоцелевого комбинированного беспилотного летательного аппарата или системой инициирования средств поражения.

Маневрирование в полете осуществляется за счет изменения положения переднего горизонтального оперения закрепленного на валах электродвигателей. Схема вариантов многоцелевого комбинированного беспилотного летательного аппарата представлена рис. 1 и 2.

После постановки задачи на применение многоцелевого комбинированного беспилотного летательного аппарата производится сборка из набора имеющихся в наличии различных элементов для наиболее эффективного его применения. При отсутствии необходимых элементов отвечающих параметрам эффективного выполнения задачи из имеющихся подручных материалов изготавливаются крылья необходимой формы и профиля.

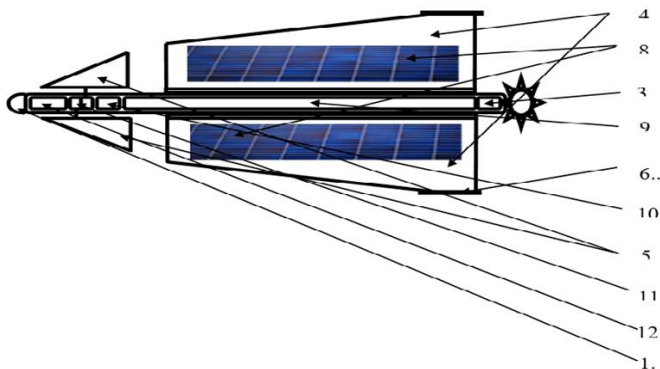


**Рис. 1. Схема многоцелевого комбинированного беспилотного летательного аппарата с треугольным крылом и электродвигателем:**  
 1 – средства наблюдения; 3 – двигатель; 4 – съемное крыло; 5 – поворотное переднее горизонтальное оперение; 6 – законцовка крыла; 8 – солнечная батарея; 9 – источник питания двигателя; 10 – отсек для парашюта;  
 11 – электродвигатели; 12 – устройство управления полетом

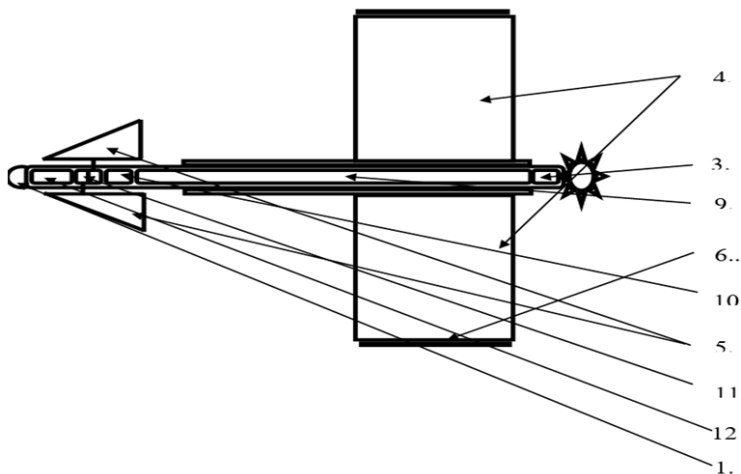


**Рис. 2. Схема многоцелевого комбинированного беспилотного летательного аппарата с прямым крылом двигателем внутреннего сгорания:**  
 1 – средства наблюдения; 3 – двигатель; 4 – съемное крыло;  
 5 – поворотное переднее горизонтальное оперение; 6 – законцовка крыла;  
 9 – источник питания двигателя; 10 – отсек для парашюта;  
 11 – электродвигатели; 12 – устройство управления полетом

Корпус комплектуется: средствами наблюдения актуальными в данный момент оптическими или тепловизионными камерами; устройством управления полетом состоящем из системы управления, средств связи, навигации и аккумулятора для электропитания; при необходимости парашютом. Устанавливается двигатель с источником питания. Для выполнения задач на большие расстояния с полезной нагрузкой большой массы предпочтительнее использовать двигатель внутреннего сгорания с большим запасом топлива. Топливо размещается в корпусе и в дополнительном баке в эластичной сумке. Если есть необходимость скрытого выполнения задачи в течение длительного времени можно использовать электродвигатель с аккумулятором в месте для источника питания двигателя или в эластичной сумке а также использовать съемные крылья с нанесенной на них солнечной батареей для пополнения запаса электроэнергии в полете. Если в первую очередь необходимо оперативно осуществить выполнение задачи можно устанавливать реактивный двигатель с запасом топлива в источнике питания двигателя и в эластичной сумке.

После старта многоцелевого комбинированного беспилотного летательного аппарата управление осуществляется с пункта управления, по каналам спутниковой и радиосвязи, опираясь на получаемую визуальную информацию и данные системы ГЛОНАСС. Корректировка маршрута полета и высоты производится по команде пункта управления или по заложенной программе отклонением переднего горизонтального оперения электродвигателями.

По завершении разведывательного полета или по исчерпанию запасов электроэнергии или топлива многоцелевой комбинированный беспилотный летательный аппарат возвращается на место посадки и осуществляет ее с помощью парашюта.

При постановке задачи на поражение при старте в эластичную сумку загружаются средства поражения. Средствами поражения могут быть различные виды боеприпасов, как заводского производства, так и самодельные взрывные устройства. Различные по назначению и по размерам виды боеприпасов укладываются в эластичную сумку и закрываются на застежку, ограничением будет масса. Закладывается тротильная шашка с электродетонатором подключенным к устройству управления полетом и по команде с пункта управления приводится в действие. Таким образом, можно утилизировать обезвреженные боеприпасы с получением положительного эффекта.

Инициирование средств поражение производится на любой, выбранной оператором высоте и позволит поражать как наземные объекты, так и воздушные объекты, в том числе рой беспилотных летательных аппаратов.

Многоцелевой беспилотный летательный аппарат с помощью гибкого использования двигательных установок и различных видов съемных крыльев позволит решать широкий спектр разведывательных и ударных задач. Даст возможность использовать различную по габаритам полезную нагрузки, минимизировать расход материальных средств за счет возможности производства в кустарных условиях и из подсобных материалов, позволит повторно использовать различные боеприпасы без ущерба для жизни оператора.

### ***Список использованных источников***

1. <https://bigenc.ru/c/krylo-letatel-nogo-apparata-af591e>
2. [https://old.bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/4008614](https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4008614).
3. [https://ru.militarydrones.org.cn/c/drone-engines\\_0040](https://ru.militarydrones.org.cn/c/drone-engines_0040).
4. Патент РФ № 2741854 от 2021 года. Беспилотная авиационная система. / Драненков А. Н., Куприн М. Н., Герасимов И. В. И др.
5. Патент РФ № 2323850 от 2008 года. Многовариантный беспилотный летательный аппарат. / Дмитриев М. Л., Покровский М. В. И др.
6. Патент РФ № 150667 от 2014 года. Беспилотный летательный аппарат среднего радиуса действия. / Нилов В. А., Левитин М. Я., Кульберг А. Л.
7. Патент РФ №2831435 от 2024 года. Многоцелевой комбинированный беспилотный летательный аппарат. / Куканков С.Н.

УДК 623.746.4-519

**С. Н. Куканков, А. А. Мухин**

(Войсковая часть 2462, г. Москва, Россия)

## **ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ УКВ РАДИОСВЯЗИ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА**

*Аннотация.* В статье рассматривается возможность использования БПЛА в качестве ретрансляторов для обеспечения устойчивой связи на протяженных участках местности со сложным рельефом.

*Ключевые слова:* УКВ радиосвязь, ретранслятор, устойчивость связи.

**S. Kukankov, A. Mukhin**  
(Military unit 2462, Moscow, Russia)

## **ISSUES OF ENSURING STABLE VHF RADIO COMMUNICATION IN MOUNTAINOUS AREAS USING UAVS**

*Abstract.* The article considers the possibility of using UAVs as repeaters to ensure stable communication over long stretches of terrain with difficult terrain.

*Keywords:* VHF radio communication, repeater, communication stability.

В настоящее время различные службы, обеспечивающие национальную безопасность РФ, проявляют большой интерес к комплексам воздушного наблюдения и мониторинга природной среды и технических объектов с использованием малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Благодаря высокой степени мобильности и низкой себестоимости БПЛА за последние несколько десятилетий нашли широкое применение в различных областях [1]. В первую очередь БПЛА всегда использовались в военной отрасли, выполняя различные задачи на вражеской территории и сокращая потери среди пилотов. Малоразмерные БПЛА стали доступны для более широкого применения, вследствие чего чаще используются в гражданских и коммерческих целях: мониторинг погоды, обнаружение возгораний в лесах, отслеживание автомобильных пробок, транспортировка грузов, использование в спасательных операциях, ретрансляция сигналов связи и т.д. [2].

Беспилотные летательные аппараты подразделяются на категории: самолетного, вертолетного и аэростатного типа. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Например, БПЛА самолетного типа обладают высокой скоростью и способны нести большой вес, однако они должны поддерживать постоянное движение, чтобы сохранять высоту. Как следствие, они не могут быть использованы для ряда задач, таких как тщательный осмотр местности. Беспилотные летательные аппараты вертолетного типа, напротив, обладают ограниченной степенью мобильности, но способны осуществлять движение в любом направлении, а также оставаться в одной точке. Аэростатные системы позволяют длительное время осуществлять мониторинг

на протяженных площадных объектах в течение длительного времени используя полезную нагрузку большого веса и поднимая ее на большие высоты.

Таким образом, выбор БПЛА зависит от цели применения. Среди различных областей использования БПЛА их применение в качестве ретрансляторов в системах беспроводной коммуникации является одним из важнейших [3]. Системы связи, использующие БПЛА, обладают важнейшим преимуществом – в отличие от наземных систем ретрансляции сигналов, их функционирование не может быть затруднено затенением городской или горной местностью или повреждением инфраструктуры связи, вызванным природными катастрофами.

Применение БПЛА для обеспечения устойчивой связи связано с меньшими материальными затратами и более быстрой подготовкой, что делает их подходящим вариантом для использования. Кроме того, эксплуатация БПЛА для подобных целей часто обеспечивает прямую видимость объектов связи, что приводит к повышению качества связи. Высокая степень маневренности подобных аппаратов также отражается на улучшении связи благодаря возможности адаптации к особенностям местности, в которой они действуют. Более того, возможен вариант функционирования БПЛА, обеспечение параметров полета при котором качество связи может длительное время оставаться неизменной. Например, при наличии стабильной связи с наземными объектами скорость полета аппарата будет уменьшаться, чтобы обеспечить передачу большего количества данных. Благодаря данным преимуществам БПЛА могут стать важнейшим компонентом систем беспроводной коммуникации в будущем.

В последнее время БПЛА стали использоваться во многих областях, которые подразумевают применение аппарата в роли ретранслятора: использование в спасательных операциях, тушение лесных пожаров, аэрофотосъемка, охрана территорий, логистика и многие др. В военной сфере БПЛА могут решать разведывательные задачи (на сегодня это основное их предназначение), применяться для нанесения ударов по наземным и морским целям, перехвата воздушных целей, осуществлять постановку радиопомех, управления огнем и целеуказания, ретрансляции сообщений и данных, доставки грузов. Во всех по-

добных вариантах применения БПЛА выполняют задачи в местах, отдаленных от наземной коммуникационной инфраструктуры

Для используемых при ретрансляции каналов связи характерно наличие двух типов передачи информации: земля–БПЛА и БПЛА–земля. Оба типа обладают характеристиками, выделяющими их на фоне передачи между наземными системами.

Передача типа земля–БПЛА. При передаче данных на БПЛА объекты передачи чаще всего находятся в прямой видимости. С одной стороны, благодаря почти постоянному наличию прямой видимости между объектами передачи возможно использование миллиметрового диапазона в целях обеспечения устойчивой связи между БПЛА, с другой – при использовании данного диапазона может наблюдаться высокая степень доплеровского сдвига частот, обусловленная большими значениями относительной скорости БПЛА. Благодаря своим особенностям данный вид передачи на сегодняшний день является предметом многих исследований, направленных на поиск эффективных методов его применения.

Передача типа БПЛА–земля. Данный тип передачи несколько отличается, по сравнению с передачей информации наземным объектам, от пилотируемых летательных аппаратов. В отличие от подобных аппаратов, передающих сигналы наземным пунктам, расположенным на открытой местности и имеющим мощные антенные системы, БПЛА вынуждены осуществлять передачу в районах, где подобная инфраструктура чаще всего отсутствует. Несмотря на преимущество в виде возможности установления прямой видимости с объектами передачи, различные препятствия в виде рельефа местности, зданий или корпуса аппарата могут затруднять передачу. В частности, исследования показывают, что в случае выполнения БПЛА маневров задержка в передаче данных, обусловленная возникновением препятствия в виде корпуса БПЛА, может составлять до десятков секунд, что должно учитываться при планировании задач БПЛА [3]. В случае использования низколетящих БПЛА связь также может быть затруднена по причине преломления, рассеивания и отражения сигнала от гор, земной поверхности, листвы деревьев и т.д. При выполнении БПЛА своих задач над пустыней или морем передачу сигнала затрудняют только отражения от поверхности (рис. 1).

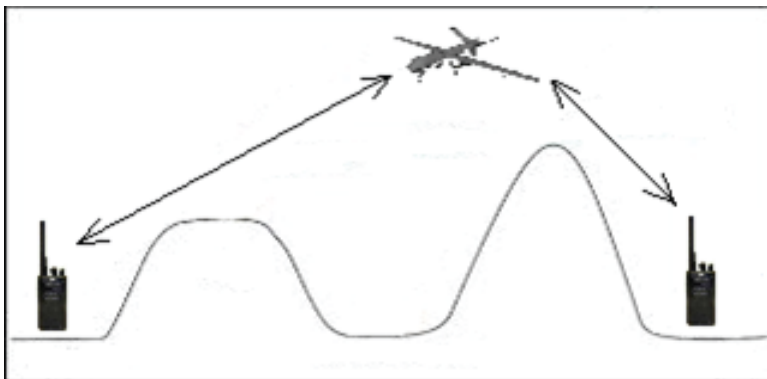


**Рис. 1. Использование БПЛА для ретрансляции сигналов в горной местности**

Использование БПЛА для ретрансляции сигналов связи является одним из перспективных направлений обеспечения устойчивой связи в горной местности. Дальнейшие исследования в данной области способны обеспечить совершенствование систем беспроводной коммуникации и более эффективное использование БПЛА в подобных системах.

#### ***Список использованных источников***

1. Валавайнис К.П. Справочник по беспилотным летательным аппаратам. – Springer Netherlands, 2015. – 3022 с.
2. Сервис беспилотных летательных систем (БАС) спрс на 2015-2035 годы: литература и прогнозы <https://info.publicintelligence.net/USAFUAS-ServiceDemand.pdf> (дата обращения: 31.10.2022).
3. Дзен Ю. Беспроводная связь с БПЛА: возможности и вызовы / Ю.Дзен., Р.Чжан ; Связь. – 2016. – Vol. 54, No. 5. – Р. 36 – 42.

**А. М. Гулак, М. А. Верещагин, Р. М. Башкиров**  
(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **SDR КАК УНИВЕРСАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ РАДИОРАЗВЕДКИ**

*Аннотация.* В работе рассматривается технология SDR, ее принцип работы, составные элементы и возможные сферы применения как для радиоразведки, так и для других целей.

*Ключевые слова:* SDR; радиоразведка; БПЛА; частота; ПО.

**A. Gulak, M. Vereshchagin, R. Bashkirov**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (training and testing), Tambov, Russia)

## **SDR AS A UNIVERSAL RADIO INTELLIGENCE SOLUTION**

*Abstract.* The article discusses SDR technology, its principle of operation, components, and possible applications for both radio intelligence and other purposes.

*Keywords:* SDR; radio intelligence; UAV; frequency; software.

**Введение.** Одной из задач, решаемых беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), является задача анализа радиоэлектронной обстановки. Данная задача решается наличием на борту БПЛА бортовой и стационарной подсистем, которые обеспечивают помехозащищенную радиосвязь и передачу данных между БПЛА и пунктом управления. Стационарная подсистема отображения, в свою очередь, должна обеспечивать интерфейс оператора при управлении, контроле БПЛА и получении информации от бортовых средств. Анализ радиоэлектронной обстановки может быть осуществлен с применением концепции SDR.

Software-defined radio или SDR – это программно-определяемая радиосистема (ПОР), то есть радиопередатчик/радиоприемник, позволяющий взаимодействовать с рабочими параметрами радиочастот при помощи специального программного обеспечения (ПО), которое

на сегодняшний день является очень гибким и адаптивным. Данная технология позволяет изменять и устанавливать такие параметры радиочастот как: тип модуляции, диапазон частот, выходную мощность сигнала и т.д. На сегодняшний день перспективным направлением является разработка портативных USB SDR-сканеров. Главная особенность устройств такого типа – малые габариты, дешевизна и широкий диапазон рабочих частот, что достигается путем реализации цифровой обработки сигналов при помощи компьютера. Кроме того, возможно использование USB SDR-устройства с android-смартфонами и планшетами, что обеспечивает высокую мобильность и удобство для военных применений.

**Принцип работы технологии SDR.** USB SDR-сканер имеет в своем составе две основных части – цифровую и радиочастотную. Цифровая часть представляет собой модуль, на входе которой принимается 8-битный поток синфазной и квадратурной составляющих, передающихся затем в хост-устройство (компьютер или смартфон) по USB с частотой дискретизации до 3,2 МГц. Одной из самых дешевых и доступных версий такого модуля является чип RTL2832.

В свою очередь, радиочастотная, она же аналоговая, часть имеет несколько вариаций, самыми эффективными из которых показывают себя Elonics e4000 с рабочим диапазоном частот от 50 до 2200 МГц и R820Tc диапазоном от 24 до 1766 МГц. Две эти наиболее удобные для SDR микросхемы, которые реализуют радиочастотную часть SDR (рис. 1), включают в себя усилитель антенны, квадратурный демодулятор, перестраиваемый фильтр и синтезатор частоты.

Для расширения диапазона поддерживаемых частот (ниже 24 МГц) и обхода ограничения аппаратной части по минимальной частоте сканирования применяются специальные высокочастотные конвертеры. Они позволяют сдвигать получаемый с антенны сигнал на 100-125 МГц вверх. Такой конвертер можно применять с любыми SDR-устройствами, а также и в режиме передачи сигнала.

Для уменьшения количества наводок и лишних шумов, чему подвержены кремниевые микросхемы и усилители, актуальным является использование малощумящего усилителя (МШУ) на основе арсенида галлия, который включается в схему между антенной и SDR-устройством. Данная технология улучшает возможность приема слабых сигналов и позволяет снизить уровень посторонних шумов на 2...3 дБ.

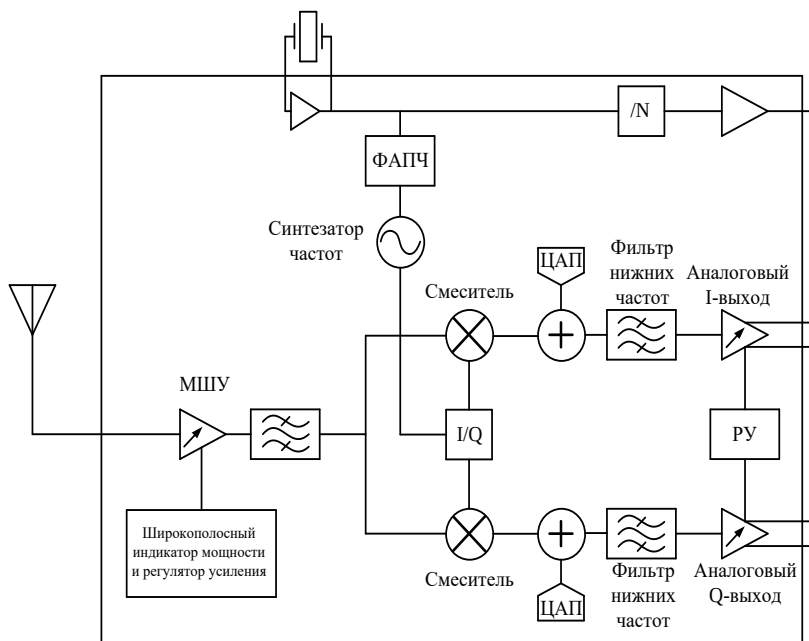


**Рис. 1. Блок-схема аналоговой части SDR-сканера**

Недостаток динамического диапазона, обусловленный 8-битностью АЦП представленной микросхемы SDR-радиосканера, компенсируется внедрением в схему приема режекторного фильтра. Избыточный уровень усиления в совокупности с использованием мощных наружных антенн ведет к перегрузке входного канала, из-за этого процесс сканирования радиочастот усложняется появлением фантомных сигналов и увеличением уровня шумового фона. Источником приведенной выше проблемы являются мощные FM-радиостанции. Наличие же в схеме сканера фильтрации решает эту проблему – режекторный фильтр призван подавлять нежелательные сигналы, в том числе и FM-диапазона.

При этом SDR-приемники дешевы в производстве и закупке, а также большинство производителей предоставляют ПО с открытым исходным кодом для использования «из коробки» или модификации под необходимые задачи.

**Применение SDR.** Сфера применения SDR-радиосканеров довольно широка:

- обработка радиосигналов различных типов и модуляций;
- пеленгация воздушного и водного транспорта;
- перехват данных с различных датчиков и устройств беспроводной связи и передачи данных;
- анализ спектра сигнала;
- использование в качестве GPS-приемника;
- радиоастрономия.

В плане ведения радиоразведки можно применять SDR-технологии не только для обработки сигналов, перехваченных иными средствами, как БПЛА, но и применять напрямую для перехвата данных возможного противника, например, перехватить видеопоток вражеского БПЛА для определения его местоположения.

Так же можно заметить и то, что ПО для SDR позволяет встраивать новейшие технологии, вроде нейронных сетей, для повышения информированности операторов и повышения скорости принятия решений.

**Выводы.** Технология SDR, как программная, так и аппаратная ее часть, является перспективным направлением исследований и разработки из-за модифицируемости программной оболочки и малогабаритности аппаратной части. Благодаря этому технология может помочь осуществлять радиоразведку как при поддержке внешних устройств по перехвату радиосигналов, например, БПЛА, так и в отрыве от них, при этом хорошо работая не только после подготовки, но и сразу по необходимости, например, при быстрой развертке «в поле».

#### ***Список использованных источников***

1. Сивагина Ю.А. Разработка ретранслятора радиосигналов и его компьютерной модели / Ю.А. Сивагина, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Современные информационные технологии. – 2013. – №17, с. 207-213.
2. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 372 с.
3. Peter B. Kennington. RF and Baseband Techniques for Software Defined Radio. Artech House, 2005.
4. Руднев П.И. Технологии SDR на службе у разработчиков систем / Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2009.

**С. К. Казьмин, О. А. Белоусов**

(Кафедра Энергетики, приборостроения и радиоэлектроники,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

## **КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ**

*Аннотация.* В связи с развитием технологий изготовления метаматериалов (ММ) весьма актуальной стала разработка радиоволновых методов, позволяющих проводить неразрушающий контроль их электрофизических и геометрических параметров (ЭФГП), в частности, при создания образцов радиопоглощающих покрытий (РПП). Для решения этой задачи развит метод свободного пространства с использованием поверхностных электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона.

*Ключевые слова:* метаматериалы, технология изготовления, металлическая подложка.

**S. K. Kazmin, O. A. Belousov**

(Department Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

## **CONTROL OF ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF METAMATERIALS ON A METAL SUBSTRATE**

*Abstract.* Due to the development of technologies for manufacturing metamaterials (MM), the development of radio wave methods that allow non-destructive testing of their electrophysical and geometric parameters (EFGP) has become very relevant, in particular, when creating samples of radio-absorbing coatings (RFP). To solve this problem, the free space method has been developed using surface electromagnetic waves of the microwave range.

*Keywords:* metamaterials, manufacturing technology, metal substrate.

В связи с развитием технологий изготовления метаматериалов (ММ) весьма актуальной стала разработка радиоволновых методов, позволяющих проводить неразрушающий контроль их электрофизических и геометрических параметров (ЭФГП), в частности, при создания образцов радиопоглощающих покрытий (РПП) [1]. Для решения этой задачи развит метод свободного пространства с использованием поверхностных электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ)

диапазона, обеспечивающий контроль ЭФГП образцов многорезонансных ММ больших размеров не только в целом, но и локально [2]. Метод позволяет определять ЭФГП ММ локально по поверхности при работе в составе многослойного РПП, когда ММ размещен на металлической подложке, с учетом частотной дисперсии резонансного характера. Испытания проводились в области отрицательной рефракции ММ, где и проявляются его уникальные свойства.

На рисунке 1 приведена геометрия однослойного двухчастотного метаматериала на металлической подложке при контроле ЭФГП методом поверхностных электромагнитных волн (ПЭМВ).

В общем случае метод ПЭМВ сводится к нахождению неизвестных частотных зависимостей комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей ММ  $\dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f)$ ,  $\dot{\mu}_{\text{ММ}}(f)$  путем минимизации целевой функции построенной, как невязка между вектор-столбцом экспериментальных  $\mathbf{A}_3$  и вектор-столбцом вычисленных теоретических значений  $\mathbf{A}_T$  комплексных коэффициентов ослабления ПЭМВ, на наборе частот  $f_k, k=1, 2, \dots, K$  [1]:

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f) &= \arg \min_{\dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f) \in \dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f)_{\text{доп}}, \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f)_{\text{доп}}} \rho(\dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f)) = \\ &= \left( \frac{1}{K} |\mathbf{A}_3 - \mathbf{A}_T|^2 \right), \end{aligned}$$

где  $\mathbf{A}_3$  и  $\mathbf{A}_T$  – вектор-столбцы, со следующими компонентами:

$$\mathbf{A}_3 = [\dot{\alpha}_3(f_1, \dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f)), \dots, \dot{\alpha}_3(f_K, \dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f))]^T,$$

$$\mathbf{A}_T = [\dot{\alpha}_T(f_1, \dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f)), \dots, \dot{\alpha}_T(f_K, \dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f))]^T.$$

где  $\rho(\dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f), \dot{\mu}_{\text{ММ}}(f))$  – расстояние между экспериментально полученными  $\mathbf{A}_3$  и вычисленными теоретическими значениями  $\mathbf{A}_T$  коэффициентов ослабления поля ПЭМВ в области допустимых значений.

Исследован ММ с двумя резонансами (dual-band (DB)) на основе двух концентрических открытых (разомкнутых) кольцевых резонаторов и полоски – DBSRR (dual-band split-ring resonator).

Экспериментальная проверка предложенного метода контроля ЭФГП ММ показала, что расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями  $\dot{\epsilon}_{\text{ММ}}(f)$ ,  $\dot{\mu}_{\text{ММ}}(f)$  не превышает 10%.

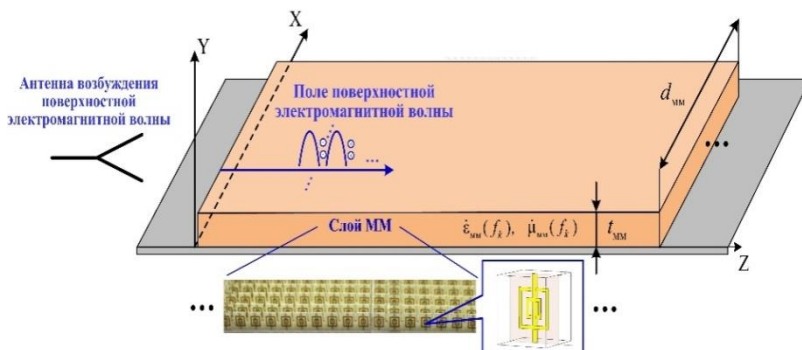


**Рис. 1. Геометрия однослойного метаматериала на металлической подложке**

### **Список использованных источников**

1. Лагарьков А.Н., Кисель В.Н., Сарычев А.К., Семененко В.Н. Электрофизика и электродинамика метаматериалов // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48. № 6. С. 1031–1048.
2. Казьмин А.И., Федюнин П.А. Контроль электрофизических параметров метаматериалов методом поверхностных электромагнитных волн // Дефектоскопия. 2021. № 4. С. 51–67.

УДК 654:005.584.1:623.746

**В. В. Каштанов, М. С. Коротков**

(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), г. Тамбов, Россия)

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены способы управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), способы противодействия БПЛА. Также для противодействия БПЛА выведены основные принципы применения средств специальных воздействий.

*Ключевые слова:* БПЛА, радиоэлектронная борьба, средства специальных воздействий.

**V. Kashtanov, M. Korotkov**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Probation), Tambov, Russia)

## **ANALYSIS OF METHODS FOR COUNTERING VARIOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES USING MODERN ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS**

*Abstract.* This article examines methods for controlling unmanned aerial vehicles (UAVs) and countering them. It also outlines the basic for using special countermeasures to counter UAVs.

*Keywords:* UAVs, electronic warfare, special means of action.

**Введение.** Использование БПЛА в местах военных столкновений помогает обнаруживать позиции противника, различной техники и различного типа вооружения, а также используется для ударов по местам дислокации неприятеля и выполнения других задач. Также БПЛА помогают отслеживать местоположение собственных войск и качественно управлять ими, переносить необходимые грузы и т. п. Примером применения БПЛА может служить Орлан-10, проиллюстрированный на рис. 1.



**Рис. 1. Пример беспилотного летательного аппарата**

Для того, чтобы помешать вражеским БПЛА выполнить вышеуказанные задачи, необходимо разработать методы противодействия им. Итогом воздействия на вражеский БПЛА будет удаленное нарушение работы его составляющих. Данное воздействие может быть выполнено как физически, так и с помощью средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). В первом случае применяется поражение БПЛА огневой мощностью. Для этого необходимо выполнение двух условий: БПЛА обязан быть обнаруженным и дислоцироваться в зоне досягаемости орудий. Этим обуславливаются границы его уничтожения по высоте и дальности поражения. Также стоимость пораженного БПЛА намного меньше, чем стоимость зенитных снарядов. Чтобы эффективно противодействовать БПЛА необходимо сочетать методы физического уничтожения и модернизируемые со временем средства РЭБ.

**Анализ способов противодействия БПЛА.** Диапазоны частот, используемые для управления и навигации БПЛА уязвимы к радиопомехам высокой мощности, которые используют средства РЭБ. Но постоянное влияние радиопомех влияет на качество работы своих радиоэлектронных средств, а также по радиопомехам противник может определить их источник. Чтобы эффективно противодействовать БПЛА средствам РЭБ необходимо обнаруживать каналы управления и передачи данных БПЛА.

Между БПЛА и пунктом управления (ПУ) разворачивается канал управления и передачи данных, что проиллюстрировано на рис. 2.



Рис. 2. Схема разворачивания канала управления

Этот канал характеризует три главных типа данных:

- данные от полезной нагрузки БПЛА;
- сигналы управления полезной нагрузкой;
- командно-телеметрические данные (от БПЛА – сведения о текущем положении и состоянии, от ПУ – команды к совершению маневров, корректировка маршрута движения).

Существует множество методов определения местоположения БПЛА, они могут быть как автономными (инерциальная система, электронный компас и т.д.), так и системами с внешним источником (спутниковые и локальные радионавигационные системы, а также они могут содержать в себе комплекты навигации по изображению местности). Распределение возможностей системы РЭБ, учитывая состав конкретных систем, выглядит следующим образом:

- обнаружение факта применения БПЛА по сигналу канала управления (технический анализ, интеллектуальное обнаружение и т.д.);
- местоопределение БПЛА по сигналу канала управления (амплитудное и фазовое пеленгование, разностно-дальномерный способ и т.д.);
- радиоподавление канала управления БПЛА;
- радиоподавление полезной нагрузки БПЛА (бортовых РЛС, оптических инфракрасных сенсоров и т.д.);
- радиоподавление приемника СРНС;
- искажение навигационного поля;
- специальное воздействие в канале управления БПЛА, получение данных путем анализа сигнала с известным протоколом.

Канал управления БПЛА может быть построен несколькими способами. Сотовая связь различных стандартов (GPRS, UMTS, LTE) и сети Wi-Fi позволяют построить канал управления, в котором ПУ и БПЛА будут находиться на удалении друг от друга. При таком построении канала управление БПЛА может осуществляться с помощью приложения на телефоне или на компьютере.

Положительными сторонами такого способа управления БПЛА являются:

- простоту реализации, дешевизна комплектующих;
- возможность расширения, использование в системах, которые включают в себя несколько БПЛА;

- увеличение полетных характеристик БПЛА, в том числе дальность полета, применение БПЛА на небольших высотах и в условиях со сложным рельефом местности (применение БПЛА в городе или на высокой местности и т.п.);
- использование налаженных и защищенных каналов управления, что не требует выделения отдельных частот и разработки новых приборов.

Воздействие систем РЭБ на системы БПЛА, строящих управление на подключении к сотовой сети, сходно с воздействием на абонентские терминалы сотовой связи. Это воздействие создает виртуальные базовые станции, а также перехватывает сигналы протоколов с помощью средств специальных воздействий. При этом нет способа отличить аппаратуру БПЛА от аппаратуры наземного абонента, для выполнения поиска и противодействия конкретному БПЛА, и как следствие может повлечь невыполнение поставленной задачи.

Для успешного противодействия БПЛА средствами РЭБ необходимо четко знать конкретные элементы их систем, протоколы каналов управления полетом и полезную нагрузку. Чаще всего для противодействия БПЛА используются универсальные средства РЭБ, использование которых заключается в обнаружении каналов управления и их последующем радиоподавлении. Но для противодействия развивающейся аппаратуре БПЛА и системами управления и передачи данных необходимо также совершенствовать средства РЭБ для успешного выполнения поставленных задач.

Одним из направлений в совершенствовании противодействия БПЛА являются системы специального воздействия. Такие системы дают возможность контролировать, интеллектуально блокировать и поражать радиоэлектронные объекты, которые имеют защиту от помех и адаптивность к изменяющимся условиям. Одним из способов применения средств специальных воздействий – обнаружение каналов управления и передачи данных БПЛА, расшифровка служебных элементов сообщений, и данных, которые требуются чтобы имитировать абонентов данной сети. При выполнении вышеуказанного способа БПЛА, которые подвергаются воздействию, может не замечать его или принимать за абонента собственной сети. Системы специального воздействия могут искажать данные или перехватывать их, в зависимости от поставленной задачи. Таким способом системы РЭБ позволяют незаметно вести разведку, подавлять каналы управления БПЛА и повысить

качество работы систем, не допуская адаптации противоборствующих систем между собой. Также при специальном воздействии требуемая мощность сигнала намного меньше, чем при радиоподавлении, поэтому составляющие комплекса специальных воздействий весят меньше, а также обеспечивают меньшее потребление энергии и большую защищенность операторов средств РЭБ, так как их расположение труднее обнаружить средствами радиоразведки противника.

**Выводы.** Подводя итог можно сказать, что с резкой скоростью развития систем управления БПЛА, а также с интеграцией в них интеллектуальных адаптивных систем связи, растут и запросы к средствам РЭБ. Противодействие БПЛА в современных системах РЭБ состоит в противодействии их системам управления и передачи данных, не учитывая скорость развития защиты от помех современных цифровых систем, которые используют шифрование, кодирование и современные виды сигналов. Чтобы противодействие БПЛА было действенным необходимо применять средства специального воздействия. Это поможет идентифицировать каналы управления и передачи данных БПЛА, отслеживать и перехватывать их, не раскрывая при этом местоположения пункта управления, а также снизив при этом потребление энергии.

### ***Список использованных источников***

1 Хавроничев Д. Ударные БПЛА США: настоящее и будущее / Дмитрий Хавроничев // Военное обозрение: интернет- сайт. 2011. 24 марта. URL: <http://www.army-news.ru/2011/03/udarnye-bpla-ssha/> (дата обращения: 24.07.2013).

2 Дальний беспилотный разведчик RQ-4 Global Hawk // Военное обозрение: интернет-сайт. 2013. 9 сентября. URL: <http://topwar.ru/33044-dalniy-bespilotnyy-razvedchik-rq-4-global-hawk.html> (дата обращения: 05.01.2015); БПЛА «Глобал Хок» достиг рекордного показателя по продолжительности нахождения в воздухе // Оружие России: информ. агентство. 2014. 29 мая. URL: <http://hutntsmanblog.ru/global-hawk-news/> (дата обращения: 05.01.2015).

3 Петров А.В. Гибридизация навигационных систем БПЛА в неоднородных средах. – М.: Изд-во МАИ, 2020. – 214 с.

4 Кузнецов Д.А., Федоров М.П. SLAM 2.0: глубокое обучение для навигации в динамических средах // Искусственный интеллект в технических системах. – 2022. – № 1. – С. 22–39

5 Иванов Д.К., Кузнецов Р.А. Алгоритмы коллективного поведения в робототехнике. – СПб.: Лань, 2019. – 278 с.

**А. В. Зайцев, А. А. Гусев, В. В. Соболев, Н. М. Орехов**  
(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

**МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ СОГЛАСОВАНИЯ  
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АСУ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЧАСТОТНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК КСВН**

*Аннотация.* Рассматривается вопрос выявления неисправностей антенно-фидерных систем и проверки согласования аппаратно-программных средств с помощью анализа частотных характеристик КСВН.

*Ключевые слова:* стоячие волны; коэффициент стоячей волны напряжения (КСВН); линия передачи; высокочастотные устройства; измеритель Р2-135; повреждение оборудования.

**A. Zaitsev, A. Gusev, V. Sobolev, N. Orekhov**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

**METHODOLOGY FOR VERIFYING  
THE COORDINATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM  
HARDWARE AND SOFTWARE BASED ON THE ANALYSIS  
OF VSWR FREQUENCY CHARACTERISTICS**

*Abstract.* The issue of detecting malfunctions of antenna-feeder systems and verifying hardware and software alignment by analyzing the frequency characteristics of the VSWR is being considered.

*Keywords:* standing waves; voltage standing wave coefficient (VSWR); transmission line; high-frequency devices; P2-135 meter; equipment damage.

**Введение.** Стоячие волны являются важной проблемой при рассмотрении фидеров/линий передачи, а коэффициент стоячей волны напряжения, КСВН представляет собой измерение уровня стоячих волн на фидере. Стоячие волны представляют собой мощность, которая не принимается нагрузкой и отражается обратно вдоль линии передачи или фидера. КСВН определяется как отношение максимального к минимальному напряжению на линии без потерь. Результирующее

соотношение обычно выражается в виде отношения, например, 2:1, 5:1 и т.д. Идеальное соответствие составляет 1:1, а полное несоответствие, то есть короткое замыкание или разомкнутая цепь, составляет  $\infty:1$ . Наиболее эффективные диапазоны работы антенны определяются так, чтобы значение КСВ в линии передачи было близко к единице, при этом максимален КПД системы «линия передачи – нагрузка», равный отношению мощности, выделяемой в нагрузке, к мощности падающей волны, отдаваемой генератором в линию передачи. Допустимые значения КСВ на рабочей частоте или в полосе рабочих частот для различных устройств регламентируются в технических условиях и ГОСТах. Обычно приемлемые значения КСВ лежат в пределах от 1,1 до 2,0.

КСВ является мерой согласования нагрузки (например, антенны) с линией передачи (фидером). КСВ в линии передачи не зависит от внутреннего сопротивления источника электромагнитной волны (генератора) и (в случае линейной нагрузки) от мощности генератора. Значение КСВ в однородной линии передачи без потерь постоянно по всей длине линии передачи и не зависит от ее длины.

КСВ связан с модулем коэффициента отражения в данном сечении линии передачи, эти две величины несут одинаковую информацию. Неравномерность распределения амплитуды волны вдоль линии обусловлена интерференцией («сложением и вычитанием») падающей и отраженной волн, то наибольшее значение амплитуды  $A$  волны вдоль линии (то есть значение амплитуды в пучности) составляет их сумму:

$$A_{inc} + A_{ref},$$

а наименьшее значение амплитуды (то есть значение амплитуды в узле) составляет их разность:

$$A_{inc} - A_{ref},$$

где  $A_{inc}$  – амплитуда падающей волны,  $A_{ref}$  – амплитуда отраженной волны.

Следовательно:

$$КСВ = \frac{A_{inc} + A_{ref}}{A_{inc} - A_{ref}}.$$

Отсюда следует связь КСВ с модулем коэффициента отражения  $|\Gamma|$  по напряжению  $|\Gamma_U| = U_{ref} / U_{inc}$  или по току:

$$КСВ = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}.$$

В режиме бегущей волны (в этом режиме линия передачи согласована с нагрузкой) отраженная волна  $|\Gamma_U| = 0$  и КСВН=1.

В режиме смешанной волны  $A_{ref} \neq 0$ , КСВН > 1.

В режиме стоячей волны, когда  $A_{ref} = A_{inc}$  (амплитуды отраженной и падающей волн равны),  $|\Gamma_U| = 1$  и КСВН стремится к бесконечности.

КСВН влияет на производительность системы передатчика или любой системы, которая может использовать ВЧ и согласованные импедансы, следующим образом:

- от соотношения между волновым сопротивлением линии передачи и сопротивлением нагрузки;
- от наличия неоднородностей в линии передачи, например, соединений, повреждений, изгибов малого радиуса;
- от качества разделки кабеля в высокочастотном соединителе (разъеме) линии передачи на стороне нагрузки.

Возрастание КСВ приводит к ухудшению КПД системы по следующим основным причинам:

- тепловые потери в самой линии передачи по сравнению со случаем КСВ = 1 возрастают;
- из-за рассогласования нагрузки с линией передачи (причина возрастания КСВ) снижается потребление нагрузкой мощности генератора;
- изменяется режим работы активного прибора источника электромагнитной волны, что является негативным фактором, дополнительно снижающим выделение мощности в нагрузке;
- пробой линии передачи или ее расплавление в пучностях напряжения или тока;
- выход из строя мощного усилителя (транзистора) из-за выхода режима работы за допустимые пределы: возрастание тока или напряжения на выходном электроде может привести к пробое, возрастание рассеиваемой мощности – к перегреву;

- возрастание неравномерности АЧХ тракта, что может проявляться, в частности, в искажении формы передаваемых коротких и проявлении многократных переотражений коротких импульсов;
- самовозбуждение соединяемых между собой каскадов.

**Методика проверки.** Для измерения КСВН используются КСВН-метры. В нашем случае применялся Р2-135 измеритель КСВН панорамный. Прибор предназначен для измерения и панорамного отображения на экране индикатора частотных характеристик: коэффициента стоячей волны по напряжению и модуля коэффициента передачи (усиления и ослабления) элементов коаксиального тракта сечением 7/3,04 мм и 3,5/1,52 мм. Прибор рассчитан как на автономное использование, так и на работу в составе измерительных систем с интерфейсом RS-232C или RS-485.

Для проведения измерений требуется собрать схему подключения для калибровки прибора и измерения КСВН. Калибровка осуществляется в два этапа, с начало по холостому ходу, потом короткое замыкание. Рекомендуется при калибровке значение выходного сигнала генератора при не нагруженном измерительном разъеме моста установить в пределах  $53 \pm 2$  дБ, что обеспечит динамический диапазон измеряемых КСВН от 1,03 до 10,00.

Откалибровав прибор во всем диапазоне его рабочих частот (от 0,01 до 2,50 ГГц) в схему подключается измеряемый объект, в нашем случае это высокочастотная антенна. Подключив антенну на приборе появится график изменения КСВН, рисунок 1.

Данный график показывает КСВН во всем диапазоне работы прибора, поэтому для получения точных участков частот подходящих для работы антенны нужно рассматривать графики в приближении. Визуально определив наибольшие «провалы» на графике, перекалибровываем прибор под каждый новый участок отдельно, чтобы увеличить точность измерения.

Прибор также позволяет автоматизировать данный процесс. При установленных рабочих режимах измерение можно производить используя интерфейс RS-232C или RS-485. Для удобства использования в приборе реализована система собственных команд. Данный метод позволяет через стандартные программы, входящие в состав операционных систем, (например Hyper Terminal) производить измерения величин. Это позволяет разработать программное обеспечение, кото-

рое в реальном времени будет контролировать техническое состояние системы, либо интегрировать его в уже существующие программные комплексы технического контроля при проведении ремонтных работ. Рассмотрев диапазоны в приближении составим точную таблицу диапазонов частот с наименьшим КСВН, которую можно будет выдавать операторам как рекомендацию по работе с данной аппаратурой.

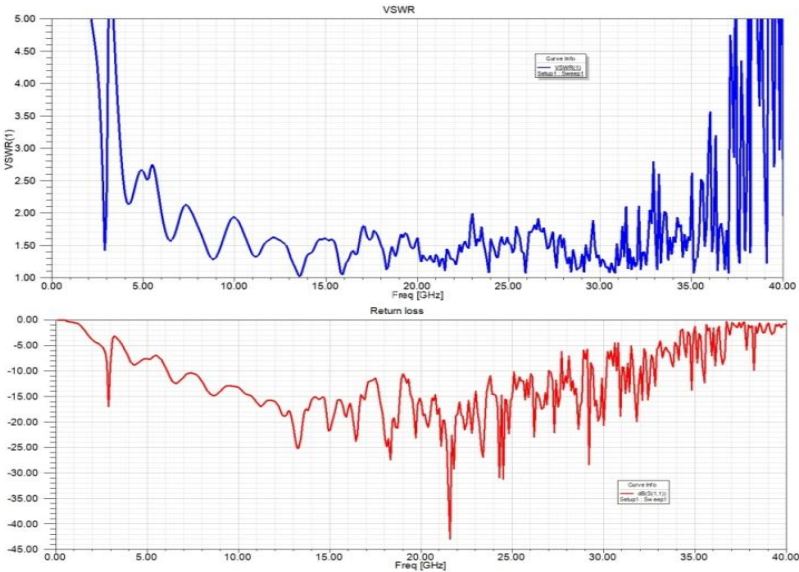


**Рис. 1. График изменения КСВН в зависимости от частоты при подключенной антенне**

**1. Измеренные значения КСВН для антенны**

| Частотный диапазон, Гц | Диапазон КСВН |
|------------------------|---------------|
| 100 – 123              | 1,1 – 2,1     |
| 340 – 370              | 1,3 – 2,4     |
| 438 – 565              | 1,4 – 2,3     |
| 1443 – 2351            | 1,1 – 2       |

**Выводы.** В данной статье была предложена методика проверки согласованности системы на основе анализа частотных характеристик КСВН с помощью прибора Р2-135. Благодаря полученным данным оператор сможет правильно настроить антенну или выявить ее неработоспособность, а также предугадать на каких частотах может работать противник.

#### ***Список использованных источников***

1. Руководство по эксплуатации «Измеритель КСВН панорамный Р2-135».
2. Катаранов Б.А. Электроника. М.: МО РФ, 1999. 291 с.
3. Тютюнник В.М., Тютюнник А.Д. «Интеллектуальные информационные системы» Тамбов.: МИНЦ «Нобелистика», 2012. 356с.
4. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л. «Антенно-фидерные устройства», Советское радио, 1961. 816 с.

УДК 632.626

**А. В. Зайцев, А. А. Гусев, В. В. Соболев, Н. М. Орехов**  
(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

### **ПОДХОД К ПОИСКУ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ**

*Аннотация.* В данной статье описаны способы проверки состояний радиоэлектронной аппаратуры, матричный подход к анализу состояния систем, приведены элементы теории надежности, применяемые при планировании технического обслуживания и ремонта комплексов радиоэлектронной борьбы, а также краткое описание аппаратной технической обеспечения.

*Ключевые слова:* поиск и устранение неисправностей, техническое обслуживание и ремонт средств радиоэлектронной борьбы, матричный подход, аппаратная техническое обслуживания.

**A. Zaitsev, A. Gusev, V. Sobolev, N. Orekhov**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **AN APPROACH TO TROUBLESHOOTING IN MODERN ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS AND COMPLEXES**

*Abstract.* This article describes methods for checking the status of electronic equipment, a matrix approach to analyzing the state of systems, provides elements of reliability theory used in planning the maintenance and repair of electronic warfare systems, and also a brief description of the hardware technical support.

*Keywords:* Troubleshooting, maintenance and repair of electronic warfare systems, matrix approach, hardware support.

**Введение.** Одной из характерных особенностей развития современной техники является обширное применение автоматизированных средств и процессов, где роль оператора сводится к запуску системы и контролю ее параметров. Такой подход бесспорно упрощает процесс эксплуатации изделия и уменьшает влияние человеческого фактора на результат работы. Особую роль он играет в ходе применения радиоэлектронных средств таких как, например, радиолокационные станции (РЛС) или системы и комплексы радиоэлектронной борьбы (РЭБ), развертывание которых в полевых условиях должно занимать минимально возможный промежуток времени, а от результатов их функционирования зависят не только целостность самого комплекса и входящих в него средств, но и человеческие жизни.

Однако автоматизация радиоэлектронных средств имеет один существенный недостаток – усложнение схмотехнических решений и алгоритмов функционирования изделий. Как следствие усложняется процесс технического обслуживания (ТО), а также поиска и устранения неисправностей (ПиУН). И если в ходе запланированных проверок или испытаний увеличение количества времени проведения указанных процессов не столь критично, то в условиях военных действий, как например во время проведения специальной военной операции (СВО), может привести к потерям техники и личного состава.

Из описанной проблемы можно сделать вывод о чрезвычайной важности эффективных и отработанных алгоритмов поиска и устранения неисправностей.

### **Способы проверки состояния радиоэлектронной аппаратуры.**

Поиск неисправностей радиоэлектронной аппаратуры представляет собой выявление вышедших из строя узлов аппаратуры или их элементов путем проверки их состояния. На сегодняшний день существуют следующие способы проверки:

- способ внешнего осмотра;
- способ замены;
- способ сравнений;
- способ контрольных переключений и регулировок;
- способ промежуточных измерений.

Способ внешнего осмотра применяется самым первым и заключается в осмотре аппаратуры и обнаружении отказавших элементов по внешним признакам: механическим повреждениям, нарушениям контактных соединений и прочим дефектам.

Способ замены заключается в замещении предположительно неисправного элемента идентичным и заведомо исправным.

Способ сравнения применяется, когда комплект эксплуатационно-технической документации (ЭТД) не располагает достаточным количеством информации о параметрах выходных и промежуточных сигналов, и заключается в сопоставлении проверяемых электрических параметров в идентичных точках ремонтируемой и неисправной аппаратуры.

Способ контрольных переключений и регулировок заключается в определении работоспособности составных частей аппаратуры путем переключений режимов или проведением регулировок с помощью органов настройки.

Способ промежуточных измерений заключается в измерении токов, напряжений, уровней, частот, формы сигналов в определенных точках и сравнении результатов измерений с данными технической документации. Он подразделяется на следующие методы:

- метод последовательных поэлементных проверок;
- метод групповых проверок;
- комбинационный метод.

Метод последовательных поэлементных проверок предполагает последовательное измерение параметров каждого элемента до тех пор, пока не будет выявлен неисправный.

Метод групповых проверок представляет собой проверку группы элементов, состояние которых определяется путем проведения изме-

рений одного или нескольких параметров, с последующим ее сужением путем исключения рабочих компонентов.

Комбинационный метод заключается в измерении группы параметров системы, а затем, в зависимости от количества параметров, которые находятся в пределах допустимых значений и которые выходят за пределы, определении состояния устройства.

Как правило на практике достаточно эффективно пользоваться сочетанием описанных методов, а не строго одним определенным.

**Матричный подход при анализе состояния радиоэлектронных систем.** Отображением результатов комбинационного метода проверки можно назвать матричный подход. Он позволяет по измеренным характеристикам системы или ее узла определить неисправные элементы. В качестве примера может служить анализ абстрактной системы, изображенной на рис. 1.

Для такой системы составляется таблица (матрица) неисправных элементов (таблица 1), где названиями строк являются номера элементов системы, а названиями столбцов – параметры (в данном случае напряжения на выходе системы:  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ ), отклоняющиеся от номинального значения. Анализируя матрицу можно сделать вывод о том, выход из строя какого элемента системы приводит к отклонению измеряемого параметра.

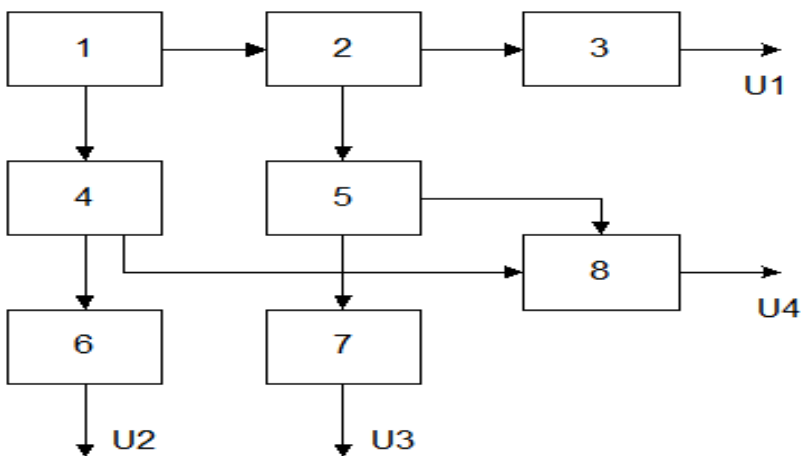


Рис. 1. Анализируемая система

## 1. Матрица неисправных элементов

| Номер<br>элемента | Измеряемые параметры, отклоняющиеся<br>от номинального значения |    |    |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|----|----|----|
|                   | U1                                                              | U2 | U3 | U4 |
| 1                 | 0                                                               | 0  | 0  | 0  |
| 2                 | 0                                                               | 1  | 0  | 0  |
| 3                 | 0                                                               | 1  | 1  | 1  |
| 4                 | 1                                                               | 0  | 1  | 0  |
| 5                 | 1                                                               | 1  | 0  | 0  |
| 6                 | 1                                                               | 0  | 1  | 1  |
| 7                 | 1                                                               | 1  | 0  | 1  |
| 8                 | 1                                                               | 1  | 1  | 0  |

Так, например, можно сказать, что к отклонению значения напряжения U1 от номинального значения приводит неисправность либо в блоке 1, либо в блоке 2, либо в блоке 3.

**Теория надежности как элемент технического обслуживания.** Важную роль в процессе ТО, ПиУН и ремонта играет теория надежности.

Надежность – это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Понятие надежности неразрывно связано с такими свойствами объекта как безотказность и ремонтпригодность.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов и повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Основными показателями безотказности и ремонтпригодности являются: функция ненадежности, интенсивность отказов и средняя наработка на отказ.

Функция ненадежности  $Q(t)$  представляет собой вероятность того, что время работоспособности объекта или системы окажется меньше некоторого заданного.

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  является условной плотностью вероятности возникновения отказа, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник, и находится по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{q(t)}{P(t)} = \frac{\frac{dQ(t)}{dt}}{\frac{dP(t)}{dt}} = - \frac{\frac{dQ(t)}{dt}}{\frac{dP(t)}{dt}}, \quad (1)$$

где  $q(t) = \frac{dQ(t)}{dt}$  – плотность вероятности отказа;  $P(t)$  – вероятность безотказной работы.

Средняя наработка на отказ  $T_0$  представляет собой среднюю продолжительность работы объекта и вычисляется как:

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (2)$$

где  $P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$ .

Описанные параметры позволяют спрогнозировать время выхода узла или элемента из строя, а также спланировать мероприятия технического обслуживания и планового ремонта станций и комплексов.

**Техническое обслуживание и ремонт комплексов радиоэлектронной борьбы.** В настоящее время для проведения диагностики и ремонта применяют различные аппаратные технического обеспечения (АТО) такие как, например, РБ-805А «Лесостепь», предназначенные для проведения технического обслуживания и текущего ремонта (ТР) автоматизированного пункта управления Р-330КМВ (РБ-101Б), автоматизированных станций помех: Р-330БМВ (РБ-331Б), Р-934БМВ (РБ-332Б), Р-378БМВ (РБ-311Б), Р-325УМВ (РБ-312А) из состава модернизированного комплекса радиоэлектронного подавления КВ и УКВ-радиосвязи тактического звена управления РБ-301А, а также станции помех Р-330Ж по регламентированному перечню мероприятий ТО и ТР.

Такие АТО состоят из аппаратной технической диагностики (АТД), изображенной на рис. 2 (а), и мастерской ремонтной (МР), представленной на рис. 2 (б), оборудованных автоматизированными рабочими местами.

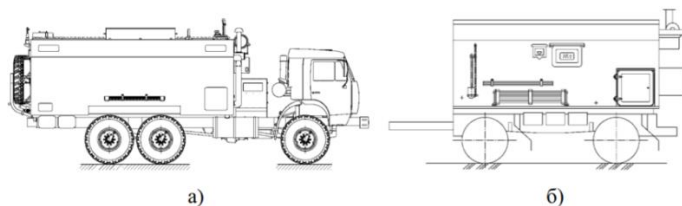


**Рис. 2. Внешний вид АТД (а) и МР (б)**

Проведение ТО и ПиУН в АТО осуществляется при помощи алгоритмов, созданных на основе технологических карт, а также средств измерения и контроля. Так на рис. 3 представлен алгоритм измерения основных параметров модуля возбудителя автоматизированной станции помех (АСП) Р-934БМВ, составленный на основе технологической карты ТО станции.

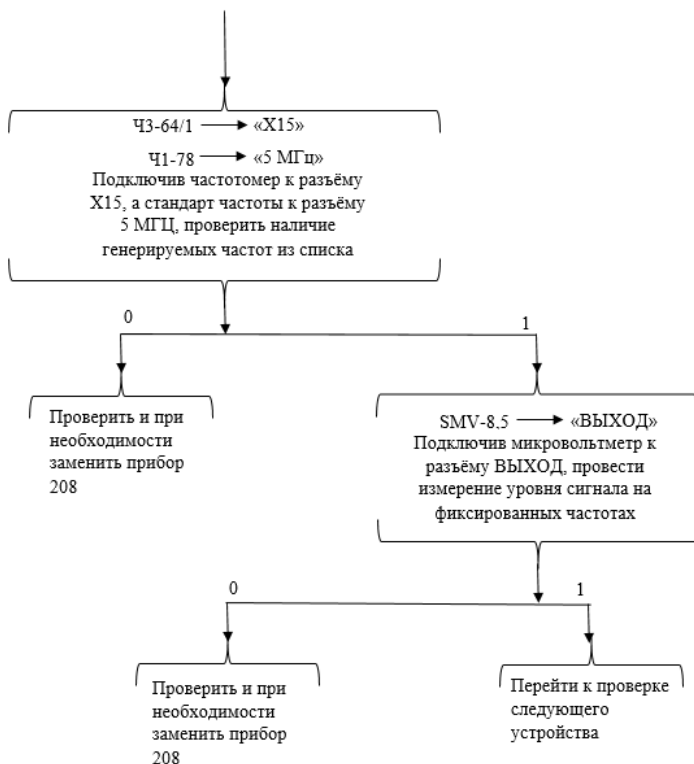


**Рис. 3. Алгоритм проверки возбудителя АСП Р-934БМВ**

Стрелками на схеме указаны направления проведения измерений, а символами «0» и «1» указаны действия при отрицательном и положительном результате измерений соответственно.

**Выводы.** Несмотря на постоянное совершенствование и автоматизацию систем поиска неисправностей, процесс выявления вышедших из строя элементов до сих пор остается достаточно долгим и трудоемким, занимая 60 – 80% от всего времени ремонта. При этом не существует строгой теории поиска неисправностей, обычно его производят, руководствуясь схемами проверки, разработанными на основе технологических карт, включаемыми в ЭТД. Такие схемы составляются заранее с учетом характерных для определенных узлов и элементов причин выхода из строя. Однако, несмотря на наличие документации, основу быстрого и успешного ремонта составляет опыт оператора, его способность правильно трактовать сигналы, получаемые от блоков контроля и понимать причину их возникновения.

Таким образом, важным элементом подготовки операторов современных радиоэлектронных средств является не только изучение характеристик и возможностей техники или же отработка нормативов развертывания и работы комплексов, но и накопление опыта в области поиска и устранения неисправностей основных узлов используемой ими аппаратуры. Добиться этого можно созданием специализированных учебных классов, оборудованных измерительными приборами, средствами ремонта и радиоэлектронной аппаратурой (РЭА), целенаправленно выведенной из строя, и позволяющих операторам не только приобрести навыки работы с средствами контроля параметров, но и ознакомиться с типовыми неисправностями РЭА и способами их обнаружения и устранения. Помимо этого, немаловажным является создание учебно-тренировочных средств (УТС), имитирующих различные ситуации поломок РЭА в условиях, приближенных к реальным, и способов их поиска и устранения, и которые успешно применяются при подготовке операторов средств РЭБ.

#### ***Список использованных источников***

1. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.
2. А.Д. Анисимов, А.А. Гусев, В.В. Шатских. Перспективы подготовки операторов средств РЭБ с использованием учебно-тренировочных средств. // Войска радиоэлектронной борьбы. История, состояние и перспективы разви-

тия: сборник научных статей IV Всероссийской военно-исторической конференции. Тамбов, 23 апреля 2025 г. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – 76 – 82 с.

3. Пособие по аппаратной технической обеспеченности. Памятка оператору. – Тамбов. – 2021. – 31 с.

4. Учебно-методическая разработка по учебной дисциплине «Основы эксплуатации РЭБ». – Тамбов. – 10 с.

5. А.А. Гусев, В.В. Гусев, Н.И. Залетов, Д.М. Овчинников, В.Р. Попенко. Сокращение времени поиска и устранения неисправностей средств РЭБ в условиях СВО. // Войска радиоэлектронной борьбы. История, состояние и перспективы развития: сборник научных статей IV Всероссийской военно-исторической конференции. Тамбов, 23 апреля 2025 г. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – 157 – 166 с.

6. Тютюник В.М. Интеллектуальные информационные системы / В.М. Тютюник, А.Д. Дубровин – Тамбов: МИНЦ «Нобелистика», 2012. – 356 с.

7. Емелин Н.М. Надежность сложных технических систем в примерах и задачах. М.: МОРФ, 2006. – 60 с.

УДК.621.396

**И. С. Степанов, Е. Д. Суденков, Г. А. Глебов**

(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ В УСЛОВИЯХ ПОТЕРИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ**

*Аннотация.* В статье рассматривается проблема управления робототехническими комплексами (РТК) в условиях отсутствия или подавления сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Предлагается подход к построению нейросетевой модели автономного управления, основанного на комбинировании сверточных нейронных сетей (CNN) для обработки визуальных данных и Long Short-Term Memory (LSTM) сетей для оценки одометрии и построения траектории [4].

*Ключевые слова:* РТК, ГНСС, CNN, LSTM, нейросеть.

**I. Stepanov, K. Tulupov, E. Sudenkov**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **NEURAL NETWORK MODEL OF AUTONOMOUS CONTROL OF A ROBOTIC COMPLEX IN CONDITIONS OF LOSS OF NAVIGATION SIGNALS**

*Abstract.* The article discusses the problem of controlling robotic complexes (RTCs) in the absence or suppression of signals from global navigation satellite systems (GNSS). An approach is proposed to build a neural network model of autonomous control based on a combination neural networks (CNN) for visual data processing and Long Short-Term memori (LSTM) networks for odometric estimation and trajectory construction.

*Keywords:* RTCs, GNSS, CNN, LSTM, neural network.

**Введение.** Современные робототехнические комплексы (РТК), применяемые в задачах мониторинга, логистики и специальных задачах, критически зависят от наличия точных навигационных данных. Традиционным решением является интеграция данных с инерциальных измерительных модулей (IMU) и приемников ГНСС [1]. Однако условия плотной городской застройки, работа в закрытых помещениях, туннелях, а также воздействие средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) приводят к частичной или полной потере навигационных сигналов. В таких условиях классические фильтры Калмана, использующиеся для слияния данных, быстро накапливают ошибку (дрейф) из-за интеграции шумов IMU. В данной работе предлагается разработка нейросетевой модели управления, которая позволит РТК сохранять способность к навигации и следования по заданному маршруту исключительно на основе данных технического зрения и машинного обучения, без использования сигналов ГНСС.

**Архитектура нейросетевого модуля.** Для решения задачи автономной навигации РТК, в условиях потери навигационных сигналов, предлагается выбрать гибридную архитектуру, сочетающую в себе извлечение пространственных признаков и анализ временных последовательностей, а так-же дообучение в режиме реального времени. В штатном режиме комплекс осуществляет движение по маршруту, используя данные ГНСС для коррекции дрейфа одометрии.

Архитектура гибридного нейросетевого модуля:

1. Блок обработки изображений (Visual Frontend): используется предобученная сверточная нейронная сеть (например, модификация ResNet-50 или MobileNet для работы в реальном времени). На вход сети подается два последовательных кадра, на выходе формируется вектор признаков  $f_t$ , описывающий перемещение ключевых точек на изображениях.

2. Блок слияния данных (Fusion Module): вектор признаков  $f_t$  объединяется с предобработанными данными IMU (линейное ускорение, угловая скорость) в единый тензор.

3. Рекуррентный блок (Temporal Modeling): для оценки динамики движения используются две последовательные LSTM-ячейки. LSTM позволяет учитывать историю движения (предыдущие состояния) и эффективно сглаживать шумы измерений. На выходе LSTM формируется скрытое состояние  $h_t$ .

4. Блок регрессии (Regression Head): полносвязный слой, преобразующий  $h_t$  в искомые управляющие команды – линейную скорость  $v_t$  и угловую скорость  $\omega_t$ .

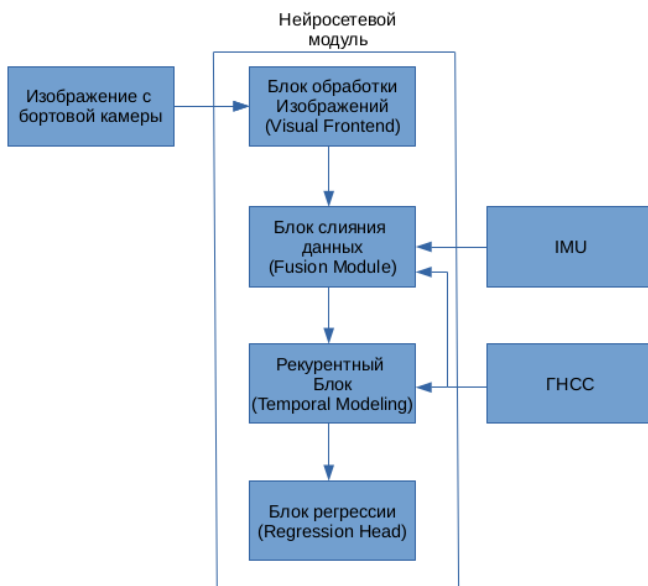


Рис. 1. Архитектура гибридного нейросетевого модуля

**Обучение нейросетевой модели.** Обучение модели предлагается провести на синтезированном датасете, созданном в среде симуляции Gazebo с использованием библиотек ROS (Robot Operating System).

Обучение гибридного нейросетевого модуля проводится путем ручного управления РТК по траекториям различной сложности. Во время движения записываются синхронизированные потоки: видео с камеры, данные IMU и эталонные значения положения, скорости из симулятора РТК. Для имитации потери сигнала ГНСС во время обучения часть данных подается в сеть без коррекции, чтобы НС училась полагаться только на визуально-инерциальную одометрию. В качестве функции потерь предлагается использовать взвешенную комбинацию среднеквадратичной ошибки (MSE) по положению и MSE по управляющим сигналам [2].

$$Loss = \lambda_1 \cdot MSE(X_{pred}, X_g) + \lambda_2 \cdot MSE((v, \omega)_{pred}, (v, \omega)_g) \quad [1]$$

Для обучения модели предлагается использовать подход сквозного обучения (end-to-end) [3]. Нейросеть учится напрямую преобразовывать «сырые» данные с сенсоров в команды управления, минуя этап явного построения карты.

Данные для обучения предлагается собирать в симуляторе РТК Gazebo (ROS). Записывается синхронизированный поток: видео ( $I_t$ ), показания IMU ( $A_t$ ) и эталонные значения ( $X_g, v_g, \omega_g$ ) от симулятора.

Для имитации потери сигнала ГНСС часть данных подается в сеть без коррекции, чтобы модель адаптировалась полагаться только на визуально-инерциальную одометрию.

Ошибка сети считается как взвешенная сумма двух ошибок:

$$\text{ошибка положения } MSE(X_{pred}, X_g). \quad [2]$$

$$\text{ошибка управляющих сигналов } MSE((v, \omega)_{pred}, (v, \omega)_g). \quad [3]$$

Полученная ошибка, через алгоритм обратного распространения, корректирует веса нейронов, чтобы при следующем похожем изобра-

жении сеть выдавала команды, максимально близкие к действиям оператора (эталону).

**Выводы.** Предложенная нейросетевая модель работает в контуре управления РТК. Гибридная архитектура CNN-LSTM позволяет компенсировать недостаток абсолютных координат, используя относительные измерения визуальной и инерциальной одометрии. В условиях наличия сигнала ГНСС модель работает в режиме обучения (корректирует свои веса). В момент обнаружения сбоя (резкое увеличение ошибки между данными одометрии и данными ГНСС) или по внешнему триггеру, система переключается в режим чистой экстраполяции, где выходы нейросети становятся основными для шины управления.

Основным ограничением данного метода осуществления автономной навигации системами РТК является накопление ошибок на больших дистанциях в условиях визуальной депривации (однородные коридоры), что является направлением для проведения дальнейших исследований (интеграция с нейросетевыми картами местности).

#### ***Список использованных источников***

1. Иванов А.А., Петров Б.В. Интегрированные навигационные системы для беспилотных летательных аппаратов. // Гироскопия и навигация, № 3, 2021. – С.45-58
2. Kendall, A., Grimes, M., & Cipolla, R. (2015). PoseNet: A convolutional network for real-time 6-DOF camera relocalization. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision.
3. Wang, S., Clark, R., Wen, H., & Trigoni, N. (2017). DeepVO: Towards end-to end visual odometry with deep recurrent convolutional neural networks. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).
4. Сидоренко В.Н. Применение LSTM-сетей для фильтрации данных инерциальных датчиков. // Датчики и системы, № 12, 2023. – С. 21-27.

**К. И. Тулупов, Е. Д. Суденков, В. В. Мешков**  
(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ АНТЕНН**

*Аннотация.* В статье рассмотрены методы исследования характеристик и параметров малогабаритных приемо-передающих и пеленгаторных антенн, а также комплекс из шести элементов для автоматизированного проведения измерений малогабаритных приемо-передающих и пеленгаторных антенн, его составляющие и взаимодействие со специальным программным обеспечением.

*Ключевые слова:* антенны, приемо-передающие и пеленгаторные антенны, диаграмма направленности, автоматизированный измерительный комплекс.

**K. Tulupov, E. Sudenkov, I. Stepanov**  
(Interspecific Training and Combat Use Center Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **AUTOMATED MEASUREMENT COMPLEX FOR PARAMETERS AND CHARACTERISTICS OF RECEIVING AND TRANSMITTING ANTENNAS**

*Abstract.* The article discusses methods for studying the characteristics and parameters of small-sized receiving and transmitting antennas, as well as a six-element system for automated measurement of small-sized receiving and transmitting antennas, its components, and interaction with special software.

*Keywords:* antennas, receiving and transmitting antennas, radiation pattern, automated measurement system.

**Введение.** В условиях современных военных конфликтов возрастает значимость высокоточных систем связи, разведки и навигации. Основным элементом таких систем являются малогабаритные приемо-передающие и пеленгаторные антенны, для эффективного применения

которых требуется произвести проверку параметров, чтобы получить точную азимутальную либо угломерную диаграмму направленности. Полученная диаграмма направленности позволит исключить особенности распространения радиосигнала от конкретной антенны.

На проведение такой проверки вручную уходит немало времени и не исключается «человеческий фактор» во время измерений, что делает процесс продолжительным, а получаемую азимутальную диаграмму направленности мало достоверной.

**Постановка задачи автоматизации.** Чтобы ускорить процесс измерений и повысить их точность, необходимо использовать устройство, которое будет поворачивать исследуемую антенну на точный угол. Для фиксации измеренного уровня сигнала и его последующего анализа следует задействовать специальное программное обеспечение, которое в итоге позволит понять направленность передающей антенны.

Главным показателем передающей антенны является ее направленность. Под направленностью передающей антенны понимают ее способность излучать радиоволны в определенных направлениях более эффективно, чем в других. Графическое изображение характеристики направленности называют диаграммой направленности [1]. Для определения диаграммы направленности необходимо записать значение уровня принятого сигнала при различных направлениях антенны, которое задается меридиональным ( $\theta$ ) и азимутальными ( $\varphi$ ) углами сферической системы координат, изображенной на рис. 1.

На практике обычно используется один из названных углов для построения плоской кривой  $f(\varphi)$  или  $f(\theta)$ .

Когда речь идет о направленных свойствах антенны, то интересуются характером зависимости напряженности поля от направления на точку наблюдения, а не абсолютным значением напряженности поля. Поэтому обычно используют понятие нормированной характеристики направленности, которые обозначаются  $F(\varphi)$  и  $F(\theta)$ . Любая из этих функций получается путем нормирования  $f(\varphi)$  или  $f(\theta)$  относительно своих максимальных значений (формулы (1) и (2)).

$$F(\theta) = \frac{f(\theta)}{f_{\max}(\theta)} \quad (1)$$

$$F(\varphi) = \frac{f(\varphi)}{f_{\max}(\varphi)} \quad (2)$$

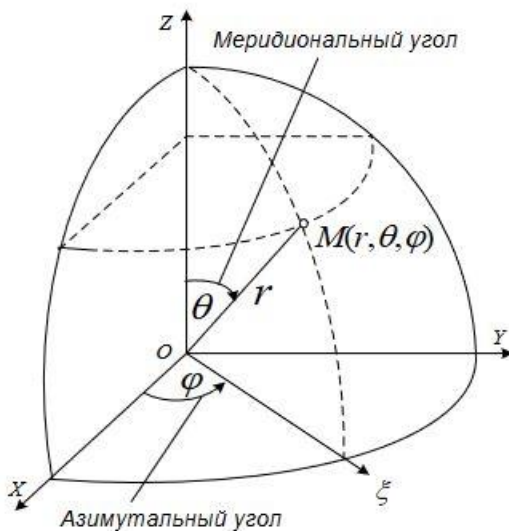


Рис. 1. Сферическая система координат

Имея нормированную функцию  $F(\theta)$  или  $F(\varphi)$ , можно построить диаграмму направленности как в декартовой системе координат, так и в полярной. А также возможно построение двух осевой характеристики направленности. Для более подробного изучения диаграмма в декартовой системе может быть представлена с логарифмическим масштабом боковых лепестков с малым уровнем.

Далее из полученных значений можно определить ширину диаграмм направленности: по уровням половинной мощности и по уровню нулевого излучения, они определяются как  $2\theta(0,5)$  и  $2\theta(0)$  (рис. 2).

**Обсуждение полученных результатов.** Для проведения исследований малогабаритных антенн был разработан измерительный комплекс, состоящий из ЭВМ со специальным программным обеспечением, поворотного устройства на основе микроконтроллера STM32F103BRT6, имеющее передаточное отношение понижающего редуктора 1:50, исследуемой антенны, которая устанавливается на поворотное устройство, генератор сигналов и анализатор спектра, к которому подключается исследуемая антенна. Общение между ЭВМ, анализатором спектра, генератором сигналов и поворотным механизмом происходит через коммутатор по сетевому протоколу LAN.

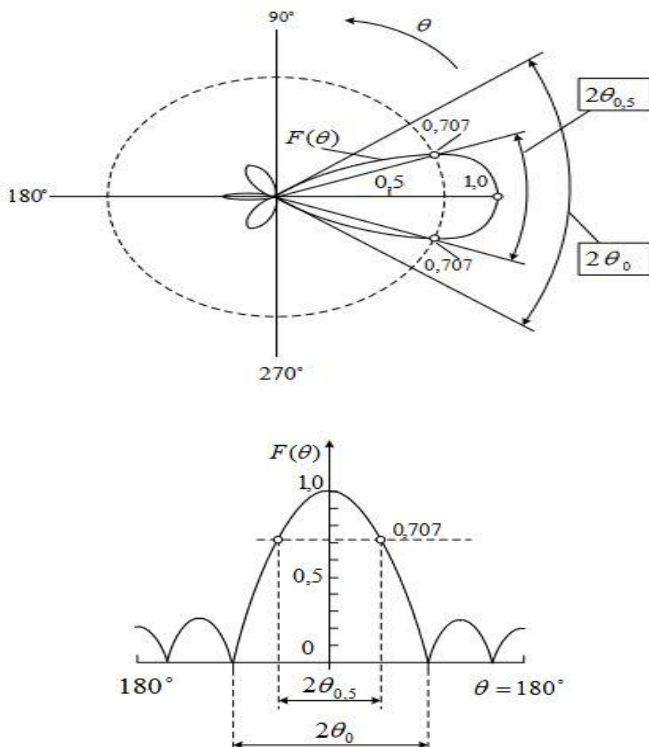


**Рис. 2. Определение ширины главного лепестка по уровню половинной мощности и по уровню нулевого излучения в полярной и декартовой системах координат**

Взаимодействие элементов продемонстрировано на рис. 3, алгоритм работы [2] со специальным программным обеспечением – на схеме 1.

Запустив специальное программное обеспечение, необходимо ввести в диалоговом окне сетевые адреса анализатора спектра, генератора сигналов и поворотного устройства и установить соединение с ними, затем необходимо ввести параметры (рисунок 4) для анализатора спектра ( $F_{\min}$ ,  $F_{\max}$  и сигнал шум), для генератора сигналов ( $\Delta F$ , RBW и уровень сигнала A) и для поворотного устройства (минимальный и максимальный угол поворота). Введя все необходимые параметры, устанавливается азимутальный ноль для поворотного устройства.

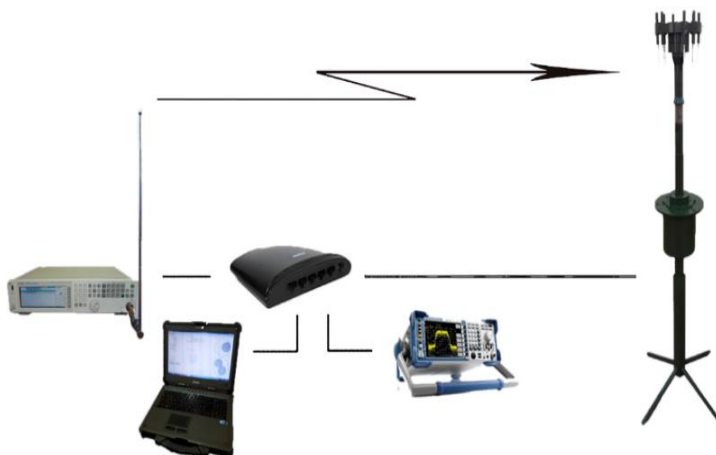


Рис. 3. Взаимодействие элементов комплекса



Рис. 4. Алгоритм работы со специальным программным обеспечением

Нажав кнопку «Запустить», генератор сигналов настраивает заданный диапазон чистоты, анализатор спектра начинает передавать уровень полученного сигнала, а поворотное устройство поворачивает исследуемую антенну на 2 градуса, после каждого измерения, а полученные результаты отображаются в виде таблицы, представленной на рис. 5.

Настройки    Измерения

Параметры измерения

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| $F_{\min}$ , МГц                | 400  |
| $F_{\max}$ , МГц                | 400  |
| $\Delta F$ , кГц                | 0    |
| $F_{\text{порт}}$ , кГц         | 200  |
| RBW                             | 3000 |
| Уровень сигнала A, dBm          | -30  |
| Сигнал шум, дБ                  | 20   |
| Угол поворота $\Phi_{\min}$ , ° | 0    |
| Угол поворота $\Phi_{\max}$ , ° | 360  |

Управление измерениями

**Запустить**    **Остановить**

Сетевые настройки приборов

Сетевой адрес анализи: 192.168.0.3:5025 ✕

Сетевой адрес генере: 192.168.0.7:5025 ✕

Сетевой адрес ПУ: 192.168.0.111:1200 ✕

**Установить соединение**

Точная настройка поворотного устройства

0

Рис. 5. Диалоговое окно программы для задания параметров измерений

Как только поворотное устройство повернет исследуемую антенну на максимальный заданный угол, измерения закончатся и пользователю будет представлена азимутальная диаграмма направленности в декартовой (рис. 6) и полярной оси координат (рис. 7). На диаграммах будут представлены два цвета областей – серые и красные. Красные области диаграммы указывают на влияние посторонних шумов на проводимые измерения и являются менее достоверными. Если же красные участки отсутствуют, то полученные диаграммы являются наиболее точными.

Поворотное устройство позволяет размещать на себе антенны массой до 25 килограмм, а также возможно подключение исследуемой антенны к генератору сигналов для проверки передачи сигнала.

| Настройки |              | Измерения      |          |
|-----------|--------------|----------------|----------|
| Угол, °   | Частота, МГц | Амплитуда, dBm | Шум, dBm |
| 0         | 400000       | -74.4263       | -104.212 |
| 2         | 400000       | -79.4069       | -107.192 |
| 4         | 400000       | -79.0815       | -103.229 |
| 6         | 400000       | -79.2227       | -107.074 |
| 8         | 400000       | -78.7726       | -101.544 |
| 10        | 400000       | -79.0091       | -105.945 |
| 12        | 400000       | -80.0174       | -105.418 |
| 14        | 400000       | -80.6201       | -106.941 |
| 16        | 400000       | -81.8102       | -109.249 |
| 18        | 400000       | -83.8944       | -106.382 |
| 20        | 400000       | -81.8025       | -107.725 |
| 22        | 400000       | -85.6172       | -109.978 |

**Рис. 6. Диалоговое окно программы с результатами проведенных измерений**

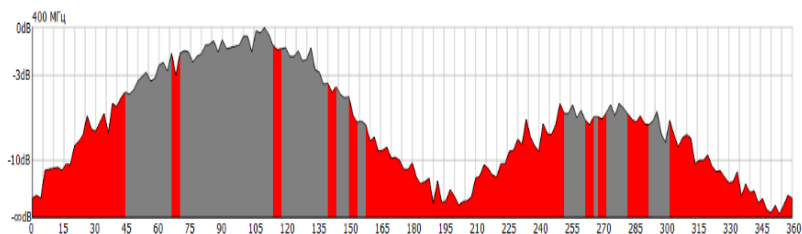


**Рис. 7. Азимутальная диаграмма направленности в декартовой системе координат**

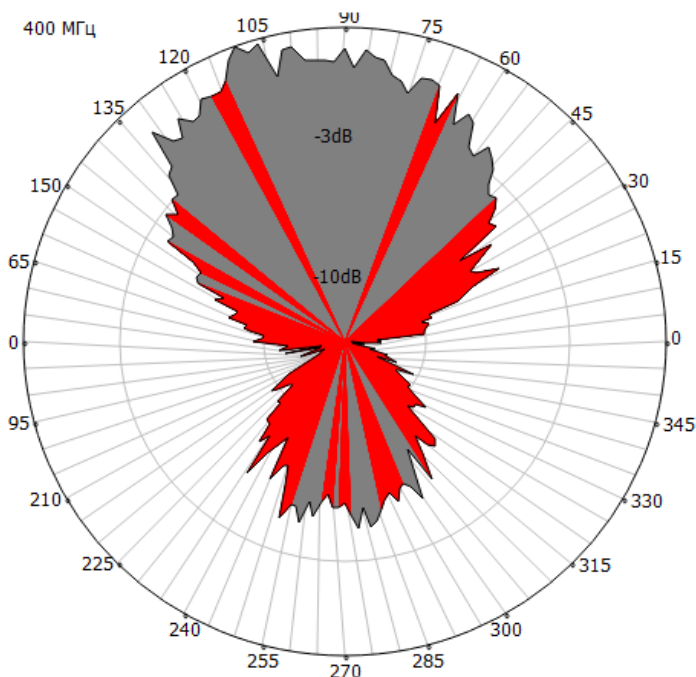


**Рис. 8. Азимутальная диаграмма направленности  
в полярной системе координат**

**Выводы.** Таким образом, разработанный комплекс позволяет в разы сократить время измерений и повысить точность получаемой азимутальной диаграммы направленности для малогабаритных приемо-передающих и пеленгаторных антенн массой до 25 килограмм, также, благодаря общению устройств по сетевому протоколу LAN, имеется возможность подключать генераторы сигнала и анализаторы спектра разной рабочей частоты.

#### ***Список использованных источников***

1. Кубанов В.П. Ружников В.А. Сподобаев М.Ю. Сподобаев Ю.М. Основы теории антенн и распространения радиосигналов. Учебное пособие / Под ред. В.П. Кубанова. – С.: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016. – 258 с.
2. Ю.И. Медведев Курс Лекций по теории автоматического управления Часть 1: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2004.-110с.

**Г. А. Глебов, Н. Ю. Поповичев, В. В. Мешков**  
(Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск  
радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный),  
г. Тамбов, Россия)

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА НА ПЛИС ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

*Аннотация.* В статье рассматривается проблема обнаружения повторяющихся последовательностей в потоке данных в режиме реального времени. Описан метод, основанный на вычислении автокорреляционной функции с использованием двух временных окон с фиксированной задержкой. Основное внимание уделено аппаратной реализации алгоритма на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Обоснованы преимущества использования ПЛИС по сравнению с процессорными архитектурами для данной задачи, приведены схемы организации вычислений и оценки производительности.

*Ключевые слова:* цифровая обработка сигналов, ПЛИС, автокорреляционная функция, параллельные вычисления, реальное время.

**G. Glebov, N. Popovichev, V. Meshkov**  
(Interspecific Center Training and Combat Use Electronic  
Warfare Troops (Training and Testing), Tambov, Russia)

## **IMPLEMENTATION OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING ON FPGA FOR DETECTING REPEATING SEQUENCES**

*Abstrac.* The article discusses the problem of detecting repeating sequences in a data stream in real time. A method based on calculating the autocorrelation function using two time windows with a fixed delay is described. The main focus is on the hardware implementation of the algorithm based on Field-Programmable Gate Arrays (FPGA). The advantages of using FPGAs compared to processor architectures for this task are substantiated, calculation organization schemes and performance estimates are presented.

*Keywords:* digital signal processing, FPGA, autocorrelation function, parallel computing, real time.

**Введение.** В современных системах радиолокации, и связи одной из ключевых задач является выделение полезного сигнала на фоне шумов и помех. Часто полезный сигнал представляет собой повторяющуюся последовательность или структуру, параметры которой заранее известны или подлежат определению. Одним из наиболее эффективных способов выделения сигналов со скрытой периодичностью является вычисление автокорреляционной функции (АКФ). Основы цифровой обработки сигналов подробно изложены в работах [1,3].

Однако, с ростом частоты дискретизации и требований к минимальной задержке отклика, программные реализации на базе универсальных процессоров сталкиваются с проблемой ограниченной пропускной способности [5]. В связи с этим актуальным становится применение программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), позволяющих реализовать массовый параллелизм и конвейерную обработку данных [2].

**Постановка задачи.** Целью работы является разработка и описание аппаратной реализации алгоритма обнаружения повторяющихся последовательностей сигнала. Алгоритм должен функционировать в режиме жесткого реального времени, обрабатывая непрерывный поток отсчетов.

В основе метода лежит анализ схожести двух участков сигнала, разнесенных во времени. Ключевым параметром является фиксированная временная задержка между анализируемыми окнами, которая для решаемой задачи составляет 64 мкс. Необходимо обеспечить вычисление значений автокорреляционной функции (АКФ) с каждым тактом поступления новых данных (скользящее окно), минимизируя задержку обработки.

**Модели и методы.** Математическая модель предлагаемого алгоритма базируется на свойствах автокорреляционной функции. Для обнаружения периодичности или повторяющихся паттернов в сигнале  $x(t)$  выделяются два временных окна (массива данных) длительностью  $N$  отсчетов. Второе окно сдвинуто относительно первого на величину задержки  $D = 64$  мкс.

В дискретном времени, при частоте дискретизации  $F_s$ , задержка в 64 мкс соответствует сдвигу на  $D = F_s \cdot 64 \cdot 10^{-6}$  отсчетов.

Вычисление значения АКФ для текущего момента времени  $k$  можно описать следующей последовательностью действий:

- Формирование двух массивов данных: текущего окна  $X[i]$  и задержанного окна  $X[i - D]$ .
- Поэлементное перемножение соответствующих отсчетов в окнах.
- Суммирование произведений для нахождения математического ожидания (с последующей нормировкой).

Математически операция для одного отсчета выходной функции  $R[k]$  выражается формулой:

$$R[k] = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} (x[k - j] \cdot x[k - j - D]) \quad (1)$$

где  $N$  – длина окна интегрирования,  $D$  – задержка (64 мкс).

При поступлении нового отсчета оба окна сдвигаются, и процедура повторяется. Таким образом, формируется массив значений автокорреляционной функции, где пиковые значения свидетельствуют о наличии повторяющейся последовательности с периодом, кратным или равным  $D$ .

**Аппаратная реализация алгоритма на ПЛИС.** Для обеспечения обработки непрерывного потока данных в режиме реального времени без потерь отсчетов, алгоритм был перенесен на архитектуру программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). В отличие от последовательного выполнения инструкций в универсальных процессорах, ПЛИС позволяет реализовать вычислительный конвейер, где каждый этап обработки выполняется параллельно в отдельном аппаратном узле.

Архитектура разрабатываемого устройства базируется на пространственном распараллеливании потоков данных. Структурная схема вычислительного конвейера, реализующего скользящее автокорреляционное окно, представлена на рис. 1.

Логика работы аппаратного вычислителя строится на следующих ключевых блоках:

- Блоки линий задержки (FIFO 1 и FIFO 2): Для формирования временной задержки в 64 мкс (параметр  $D$ ) используются ресурсы встроенной блочной памяти ПЛИС (Block RAM). Память конфигурируется. Глубина буфера строго детерминирована частотой дискретизации. Вторая линия задержки (на длину окна  $N$ ) необходима для реализации алгоритма скользящего окна без необходимости пересчета всего массива.

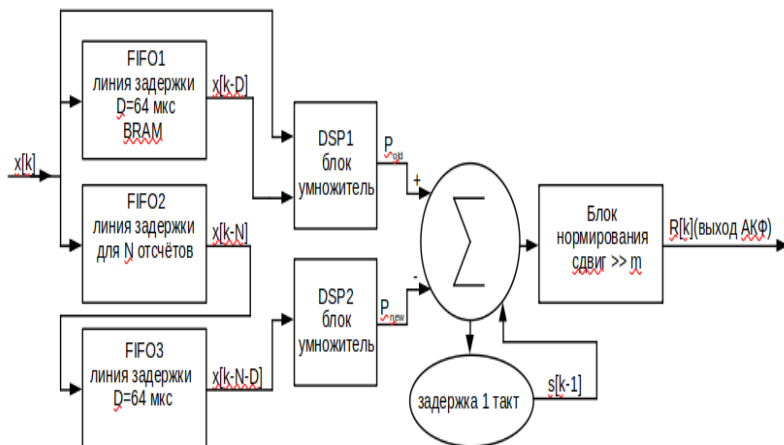


Рис. 1. Структурная схема вычислительного конвейера на ПЛИС

- Каскад умножения (DSP-умножители): Перемножение соответствующих отсчетов текущего и сдвинутого на 64 мкс окон выполняется с использованием выделенных аппаратных макроячеек (DSP). Выполняются два параллельных умножения: для входящего в окно отсчета  $x[k] \cdot x[k - N]$  и для выходящего из окна отсчета  $x[k - N] \cdot x[k - N - D]$ .

- Рекурсивный аккумулятор (Сумматор): Прямое суммирование  $N$  элементов на каждом такте потребовало бы огромного количества логических ресурсов (LUTs). Вместо этого в архитектуре заложена рекурсивная схема вычисления. Аккумулятор хранит текущее значение математического ожидания (суммы) и на каждом такте прибавляет «новое» произведение и вычитает «старое».

- Для реализации «скользящего окна» вводится текущая сумма  $S(k)$  которая обновляется на каждом такте поступления нового отсчета путем добавления нового произведения  $P_{new}$  и вычитания устаревшего значения  $P_{old}$ .  $S[k] = S[k - 1] + P_{new} + P_{old}$ , где  $P_{new} = x[k] \cdot x[k - N]$ , а  $P_{old} = x[k - N] \cdot x[k - N - D]$ .

Математически логика работы аппаратного сумматора описывается рекуррентным уравнением:

$$S[k] = S[k - 1] + (x[k] \cdot x[k - D]) - (x[k - N] \cdot x[k - N - D]) \quad (2)$$

Блок нормировки: Для получения финального значения математического ожидания сумма делится на длину окна  $N$ . При выборе  $N$ , равного степени двойки ( $N = 2^m$ ), сложная операция аппаратного деления заменяется элементарным арифметическим сдвигом вправо на  $m$  бит, что выполняется физической коммутацией проводников и не требует логических вентилях.

Спроектированная конвейерная архитектура позволяет выдавать новое значение автокорреляционной функции каждый тактовый цикл системной частоты. При этом общая задержка (latency) от входа до выхода составляет фиксированное количество тактов, что гарантирует абсолютный детерминизм системы, недостижимый при программной реализации алгоритма.

**Обсуждение полученных результатов.** Использование ПЛИС для реализации описанного алгоритма обеспечивает строгую детерминированность времени обработки. В отличие от CPU, где время выполнения может варьироваться из-за прерываний и работы кэш-памяти, ПЛИС гарантирует получение результата с фиксированной задержкой (latency) относительно входного потока.

Основные преимущества предлагаемой реализации:

1. Высокая пропускная способность: Возможность обработки сигналов с частотами дискретизации в сотни мегагерц, что недостижимо для стандартных микроконтроллеров.

2. Масштабируемость: Возможность параллельного вычисления нескольких корреляционных функций с разными задержками (не только 64 мкс) на одном кристалле без потери производительности.

3. Энергоэффективность: Удельное энергопотребление на одну операцию умножения-сложения в ПЛИС, как правило, ниже, чем в универсальных процессорах при решении потоковых задач.

Анализ использования ресурсов кристалла показывает, что основная нагрузка ложится на блоки блочной памяти (для реализации линии задержки) и DSP-слайсы. Логические ресурсы (LUT и триггеры) расходуются незначительно, что оставляет место для реализации дополнительных алгоритмов постобработки или интерфейсов передачи данных.

**Выводы.** В работе рассмотрен алгоритм обнаружения повторяющихся последовательностей методом автокорреляционного приема с фиксированной задержкой 64 мкс. Предложенная аппаратная реализация на ПЛИС с использованием оптимизированной рекурсивной схемы

вычислений позволяет осуществлять обработку в реальном времени. Такой подход эффективен для высокоскоростных систем передачи данных и радиолокации, обеспечивая высокую надежность обнаружения сигнала при минимальных временных затратах.

#### ***Список использованных источников***

1. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. – 2-е изд. – Москва: Вильямс, 2016. – 992 с.
2. Тарасов, И. Е. Проектирование систем цифровой обработки сигналов на базе ПЛИС / И. Е. Тарасов. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2022. – 240 с.
3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебник для вузов / А. Б. Сергиенко. – 3-е изд. – Санкт Петербург: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
4. Соловьев, В. В. Архитектуры ПЛИС: справочное пособие / В. В. Соловьев. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2016. – 232 с.
5. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006 г. – 656 с.

УДК 621.396.721

**И. П. Медведев, С. К. Казьмин**

(Кафедра Энергетики, приборостроения и радиоэлектроники,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ И ТРАЕКТОРИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены разработка и возможность применения метода распознавания траектории и прогнозирования поведения беспилотных авиационных систем на основе рекуррентных нейронных сетей.

*Ключевые слова:* беспилотные авиационные системы, рекуррентные нейронные сети, распознавание траектории, прогнозирование поведения, долгая краткосрочная память, управляемая рекуррентная единица.

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR RECOGNIZING  
PREDICTING THE BEHAVIOR AND TRAJECTORY  
OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS BASED  
ON COMPETITIVE NEURAL NETWORKS**

*Abstract.* The article discusses the development and possibility of using a method for recognizing the trajectory and predicting the behavior of unmanned aircraft systems based on recurrent neural networks.

*Keywords:* unmanned aircraft systems, recurrent neural networks, trajectory recognition, behavior prediction, long-term short-term memory, guided recurrent unit.

**Введение.** В настоящее время общее количество и номенклатура беспилотных авиационных систем является достаточно широкой и распространенной, как и сфера их применения. БАС применяются как в задачах мониторинга территории, разведки, доставки грузов, в сфере сельского хозяйства и иных отраслях, но и в рамках осуществления несанкционированного доступа на важные и критические области и территории. На основе этого достаточно важной задачей является осуществление возможности управления и контроля воздушного пространства, в рамках которого необходимо распознавание траектории движения беспилотного аппарата с целью прогнозирования его дальнейшего поведения.

**Рассмотрение архитектуры модели на основе рекуррентных сетей.** Базовые методы прогнозирования траектории и оценки поведения воздушных объектов, основанные на физических и статистических моделях движения, часто имеют свойство недостаточной эффективности и ошибочности в рамках высокой динамической среды и факторе непредсказуемости поведения БАС. На основе этого большее распространение получают методы машинного обучения и глубоких нейронных сетей. Отдельно стоит выделить рекуррентные нейронные сети, способные эффективно работать с последовательными данными, при этом широко используя наличие своей собственной внутренней памяти, что позволяет учитывать предыдущие состояния и положения объекта в пространстве. Использование архитектур LSTM (долгая

краткосрочная память) и GRU (управляемая рекуррентная единица) позволяют моделировать сложные временные зависимости и улучшать точность прогнозирования траектории движения беспилотного летательного аппарата. На основе этого система, основанная на данной архитектуре позволит эффективно выявлять закономерности в последовательности координат, скорости и иные параметры движения и поведения БАС [1].

Рассмотрим беспилотную авиационную систему, движение которой описывается последовательностью состояний:

$$x(t) = [x(t), y(t), z(t), V(t), \psi(t), \theta(t), \phi(t)] \quad (1)$$

где  $x, y, z$  – координаты в выбранной системе отсчета,  $V$  – модуль воздушной или истинной скорости,  $\psi, \theta, \phi$  – углы курса, тангажа и крена соответственно.

Так же рассмотрим измеряемый вектор наблюдений  $y(t)$ , включающий в себя:

- навигационные координаты (GPS/ГЛОНАСС/комбинированные решения);
- данные инерциальной навигационной системы (ускорения, угловые скорости);
- радиолокационные или оптические измерения (азимут, дальность, положение по углу места);
- производные величины (скорости, ускорения, углы поворота траектории).

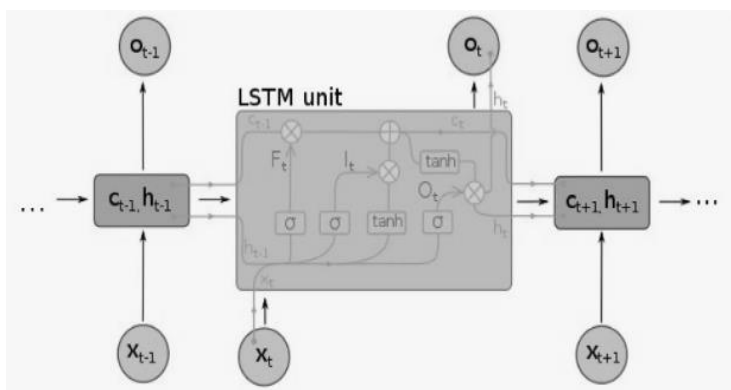


**Рис. 1. Наглядное представление архитектуры долгой краткосрочной памяти (LSTM)**



Представим часть алгоритма в более наглядной и формальной форме. Пусть  $o_k$  – вектор наблюдаемых параметров в дискретный момент  $t_k$ , где  $k = 1, \dots, N$ .

$$o_k = [x_k, y_k, z_k, V_k, \psi_k, \theta_k, \phi_k, a_{x,k}, a_{y,k}, a_{z,k}] \quad (4)$$

где  $o_k$  – вектор наблюдаемых параметров в дискретный момент  $t_k$ ,  $k = 1, \dots, N$ ,  $a_{x,y,z}$  – компоненты ускорений.

Далее на вход рекуррентной сети подается последовательность наблюдений длиной  $L$ :

$$O = \{o_{k-L+1}, \dots, o_k\} \quad (5)$$

Выход из рекуррентной сети разделяется на две части: вектором прогнозируемых параметров состояний  $T_{prog}$  (6) и вектором вероятностей принадлежности к классам поведения (7):

$$x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+N} \quad (6)$$

$$p_k = [p_k^1, p_k^2, p_k^3, \dots, p_k^n] \quad (7)$$

Таким образом, данная модель реализует совместное прогнозирование состояния БАС в пространстве и классификацию его поведения [4].

**Выводы.** В заключение стоит сказать, что использование рекуррентных нейронных сетей для распознавания и прогнозирования траектории БАС позволит обеспечить способность учета сложных временных зависимостей и нелинейности в динамике движения, так же позволит вести одновременное решение задач регрессии (прогноза координат) и классификации типа поведения объекта. Дополнительно позволит обеспечить адаптивность к новым типам траекторий при наличии достаточного объема обучающих данных. Однако, так же стоит отметить и трудности при реализации метода, а именно: необходимость крупной и репрезентативной обучающей выборки, что обязана включать в себя редкие и аномальные сценарии, так же необходимо рассматривать риски переобучения при использовании сложных архитектур, в особенности в условиях ограниченного объема данных. Важно так же отметить требования к вычислительным ресурсам при реализации работы метода в реальном времени. Тем не менее, кооперация метода с технологиями искусственного интеллекта и в частности с рекуррентными нейронными сетями позволит значительно повысить адаптивность и эффективность системы распознавания БАС и прогнозирования их поведения, поскольку позволит применять гибридные модели, что объединяют в себе физико-математические модели динамики

полета непосредственно с нейросетевыми моделями. Так же позволит осуществить внедрение механизма ускоренного обучения, что так же даст развитие для методов объяснимого искусственного интеллекта и верификации решений, принимаемых системой для прогнозирования поведения БАС в пространстве.

### ***Список использованных источников***

1. Радиоприемные устройства радиотехнических систем полетов : Учебное пособие для вузов / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов [и др.]. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 40 с. – ISBN 978-5-8114-8276-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/187481>

2. Бычков, Е. Д. Искусственный интеллект в системах связи : учебное пособие / Е. Д. Бычков, О. Н. Коваленко. – Омск : ОмГУПС, 2024. – 87 с. – ISBN 978-5-94941-353-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/505024>.

3. Искусственный интеллект. Инноватика : учебное пособие / Ю. А. Антохина, М. Л. Кричевский, Ю. А. Мартынова, А. А. Оводенко. – Санкт-Петербург : ГУАП, 2023. – 320 с. – ISBN 978-5-8088-1830-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/341003>

4. Баланов, А. Н. Машинное обучение и искусственный интеллект : учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2026. – 172 с. – ISBN 978-5-507-54962-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/513580>

УДК 68.52

**С. В. Канушкин, А. Е. Мелентьев, А. И. Кононов**

(Военная академия Ракетных войск стратегического назначения  
имени Петра Великого, г. Серпухов, Россия)

## **АЛГОРИТМ ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К АДДИТИВНЫМ ВОЗМУЩЕНИЯМ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

*Аннотация.* В статье решается противоречие между требованиями по обеспечению устойчивости при увеличенных аддитивных возмущениях техногенного характера, за счет адаптивного изменения коэффициента передачи дифференциальной составляющей закона управления, с учетом ограниче-

ний мощности рулевого привода и диапазона отклонения управляющих органов, которые определяют условия помехоустойчивости и границы области устойчивости.

*Ключевые слова:* стабилизация, закон управления, устойчивость, помехоустойчивость, предельный цикл.

**S. V. Kanushkin, A. E. Melentyev, A. I. Kononov**  
(Peter the Great Military Academy of the Strategic Missile Forces,  
Serpukhov, Russia)

## **THE ALGORITHM OF INCREASED RESISTANCE TO ADDITIVE PERTURBATIONS UNDER INTERFERENCE CONDITIONS**

*Abstract.* The article resolves the contradiction between the requirements for ensuring stability under increased additive effects of a man-made nature, due to an adaptive change in the transmission coefficient of the differential component of the control law, taking into account the limitations of the steering drive power and the deviation range of the control bodies, which determine the conditions of noise immunity and the boundaries of the stability region.

*Keywords:* stabilization, control law, stability, noise immunity, limit cycle.

Популярным средством управления и стабилизации летательных аппаратов является ПД-регулятор. При этом управление осуществляется по углу и угловой скорости:

$$i_{\psi} = K_{\psi}\psi + K_{\dot{\psi}}\dot{\psi}, \quad (1)$$

где  $i_{\psi}$  – ток управления;  $K_{\psi}$  – коэффициент алгоритма управления по углу;  $K_{\dot{\psi}}$  – коэффициент передачи по угловой скорости.

Для получения передаточной функции алгоритма стабилизации запишем уравнение в преобразованиях по Лапласу

$$i_{\psi}(S) = K_{\psi}\psi(S) + K_{\dot{\psi}}S\psi(S) = (K_{\psi} + K_{\dot{\psi}}S)\psi(S), \quad (2)$$

где  $T_{\psi} = \frac{K_{\dot{\psi}}}{K_{\psi}}$  – опережение по фазе, создаваемое алгоритмом стабилизации.

При управлении по углу и угловой скорости форсирующее звено обеспечивает условия устойчивости путем выбора величины коэффициентов. Дифференциальная составляющая пропорциональна темпу

изменения отклонения регулируемой величины и предназначена для противодействия отклонениям от целевого значения, которые прогнозируются в будущем. Примечательно то, что дифференциальная компонента устраняет затухающие колебания. При введении воздействия по производной осуществляется положительный сдвиг (опережение) по фазе, увеличивая тем самым запас устойчивости и улучшая качество переходного процесса. Однако, существенное увеличение коэффициента передачи дифференциальной составляющей закона управления является его неустойчивость к воздействию высокочастотных шумов, т.е. высокая чувствительность к высоко-частотным помехам. При введении воздействия по производной в ПД-регуляторе осуществляется положительный сдвиг по фазе, увеличивая тем самым запас устойчивости и улучшая качество переходного процесса. Суть ее заключается в том, что производная вычисляется обычно как разность двух близких по величине переменных, поэтому относительная погрешность производной всегда оказывается больше, чем относительная погрешность численного представления дифференцируемой переменной. ПД-регуляторы воздействуют на объект пропорционально отклонению суммы регулируемой величины и скорости изменения регулируемой величины.

При создании помехоустойчивых систем стабилизации необходимо учитывать, что в системе недопустимо применение форсирующих звеньев высокого порядка, что приводит к значительному увеличению амплитуды помехи.

В частности, если на вход дифференциатора поступает синусоидальный сигнал  $a_n \sin(\omega_n t)$ , то на выходе получим  $a_n \omega_n \cos(\omega_n t)$ , то есть с ростом частоты  $\omega_n$  увеличивается амплитуда сигнала на выходе дифференциатора. Иначе говоря, дифференциатор усиливает высокочастотные помехи, короткие выбросы и шум.

Помехоустойчивость системы стабилизации объекта – способность системы выполнять свои функции при наличии помех. Помехоустойчивость оценивают интенсивностью помех, при которых нарушение функций устройства еще не превышает допустимых пределов. Чем сильнее помеха, при которой устройство остается работоспособным, тем выше его помехоустойчивость.

Нелинейности типа ограничения играют существенную роль при исследовании устойчивости. В этом случае, если в линейном плане система устойчива, учет влияния нелинейности приводит к противо-

положному результату. Все это создает предпосылки для учета нелинейностей системы стабилизации при исследовании устойчивости движения. Нелинейная система может быть устойчивой «в малом» и неустойчивой в «большом».

В динамических системах с ограниченной мощностью рулевых приводов скоростная характеристика имеет нелинейность типа «зона насыщения». Насыщение характеризует ограничение мощности рулевого привода и присутствует в любом реально существующем приводе. Насыщение скоростной характеристики приводит к неустойчивости движения системы при больших возмущениях или значениях фазовых координат.

Задачи по определению потребной эффективности и предельных отклонений органов управления находятся в тесной взаимосвязи и должны рассматриваться совместно. Одним из условий сохранения управляемости является превышение управляющего момента по отношению к возмущающему. Ограничение угла отклонения органов управления связано с тем, что при большом отклонении рулей снижается их эффективность, а также существуют конструктивные ограничения.

В научной статье решается противоречие между требованиями по обеспечению устойчивости при увеличенных аддитивных возмущениях техногенного характера за счет увеличения коэффициента передачи дифференциальной составляющей закона управления и ограничениями мощности рулевого привода и диапазона отклонения управляющих органов, которые определяют условия помехоустойчивости и границы области устойчивости.

Недостатком управляющего воздействия по производной является то, что у дифференцирования очень высокий коэффициент передачи высокочастотных сигналов. Это значит, что высокочастотный шум измерений будет вызывать большие изменения управляющего сигнала. Коэффициент передачи по производной ограничен границей области устойчивости и условиями помехоустойчивости, так как дифференциатор усиливает высокочастотные помехи, короткие выбросы и шум.

Адаптивные (самонастраивающиеся) системы – это системы управления, обеспечивающие компенсацию параметрических, сигнальных, функциональных или структурных неопределенностей объекта управления за счет автоматической подстройки регулятора в ходе рабочего функционирования системы. Другими словами, адап-

тивные системы восполняют нехватку априорной информации об объекте управления в ходе рабочего функционирования. В этом смысле они могут также называться самообучающимися системами. Основной отличительной чертой адаптивных (самоадаптирующихся) систем является наличие дополнительной обратной связи, образованной цепью настройки параметров регулятора. Такая обратная связь получила название параметрической, в отличие от сигнальной обратной связи, образованной непосредственно регулятором.

Основная особенность заключается в формировании нового механизма генерации нелинейных обратных связей в канал управления во втором и четвертом квадрантах фазовой плоскости, что повышает помехоустойчивость.

Предлагается значение коэффициента передачи дифференциальной составляющей алгоритма управления увеличивать в три раза в области линии переключения знака сигнала управления, где определяется опережение по фазе, создаваемое алгоритмом управления. Это особо важно для аэродинамически неустойчивого объекта угловой стабилизации, а, следовательно, и устойчивость системы угловой стабилизации, с учетом того, что низкочастотный фильтр включается в канал управления во втором и четвертом квадрантах фазовой плоскости, что обеспечивает помехоустойчивость.

Сущность предлагаемого адаптивного алгоритма определяется выражением, в котором коэффициент передачи дифференциальной составляющей алгоритма управления меняется следующим образом:

$$K_{\psi}^{\text{пр.}} = K_{\psi}^{\text{ном.}} \cdot \{(\text{Sign}(\psi) \cdot \text{Sign}(\dot{\psi}) + 2)\}. \quad (3)$$

В таблице 1 представлены всевозможные случаи изменения знаков сигналов адаптивного алгоритма в различных зонах фазовой плоскости (рис. 2).

На рисунке 2 показаны зоны изменения значения коэффициента передачи по угловой скорости на фазовой плоскости.

На рисунке 3 показаны значения коэффициента передачи по угловой скорости в различных зонах на фазовой плоскости.

Вычислительный эксперимент осуществлен в среде MATLAB Simulink, путем моделирования динамики объекта стабилизации. Проведен сравнительный анализ динамики системы стабилизации с традиционным линейным ПД-регулятором и предлагаемым нелинейным алгоритмом с адаптацией в особых зонах фазовых состояниях.

# 1. Таблица изменения знаков сигналов в различных зонах фазовой плоскости

| Зона | $\text{Sign}(\psi)$ | $\text{Sign}(i_\psi)$ | $\text{Sign}(\psi) \cdot \text{Sign}(i_\psi)$ | $\text{Sign}(\psi) \cdot \text{Sign}(i_\psi) + 2$ |
|------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1    | +1                  | -1                    | -1                                            | 1                                                 |
| 2    | +1                  | +1                    | +1                                            | 3                                                 |
| 3    | -1                  | -1                    | +1                                            | 3                                                 |
| 4    | -1                  | +1                    | -1                                            | 1                                                 |

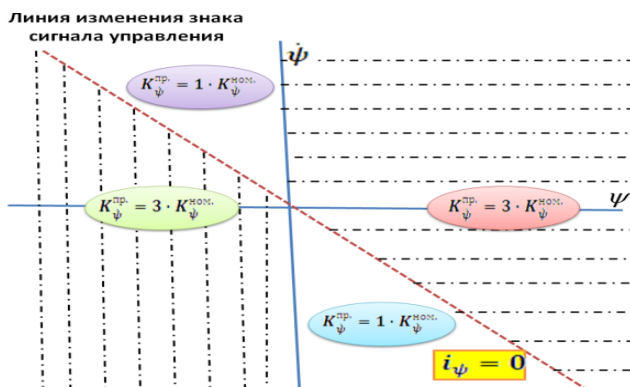


Рис. 2. Зоны изменения значения коэффициента передачи по угловой скорости на фазовой плоскости

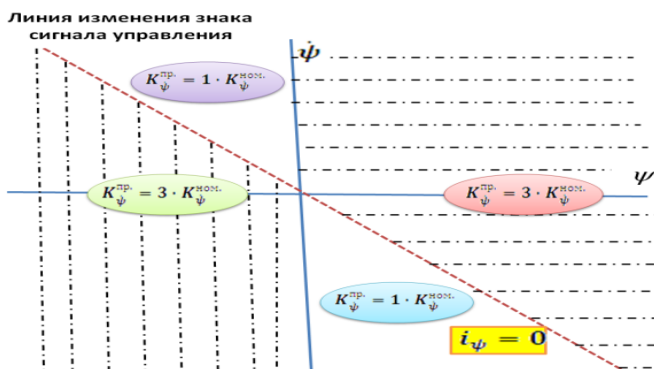


Рис. 3. Значения коэффициента передачи по угловой скорости в различных зонах на фазовой плоскости

При исследовании динамики углового движения при действии возмущения типа «скачок» (рис. 4). Структурные схемы модели системы стабилизации объекта с линейным ПД-регулятором и предлагаемым нелинейным алгоритмом адаптации в особых фазовых состояниях представлены на рис. 5.

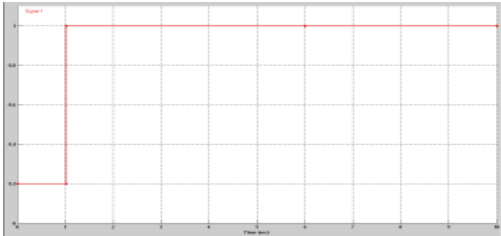


Рис. 4. График аддитивного возмущения типа «скачок»

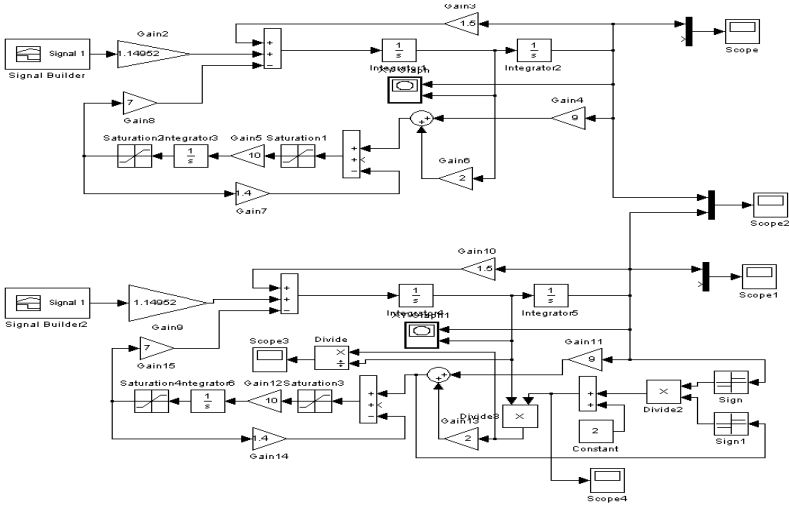


Рис. 5. Структурные схемы модели системы стабилизации объекта с линейным ПД-регулятором и нелинейным алгоритмом адаптации

Результаты моделирования представлены на фазовой плоскости в виде фазового портрета (рис. 6). Фазовая плоскость – это двумерная координатная плоскость, в которой по осям координат откладываются две переменные (фазовые координаты): регулируемая величина и ее первая производная.

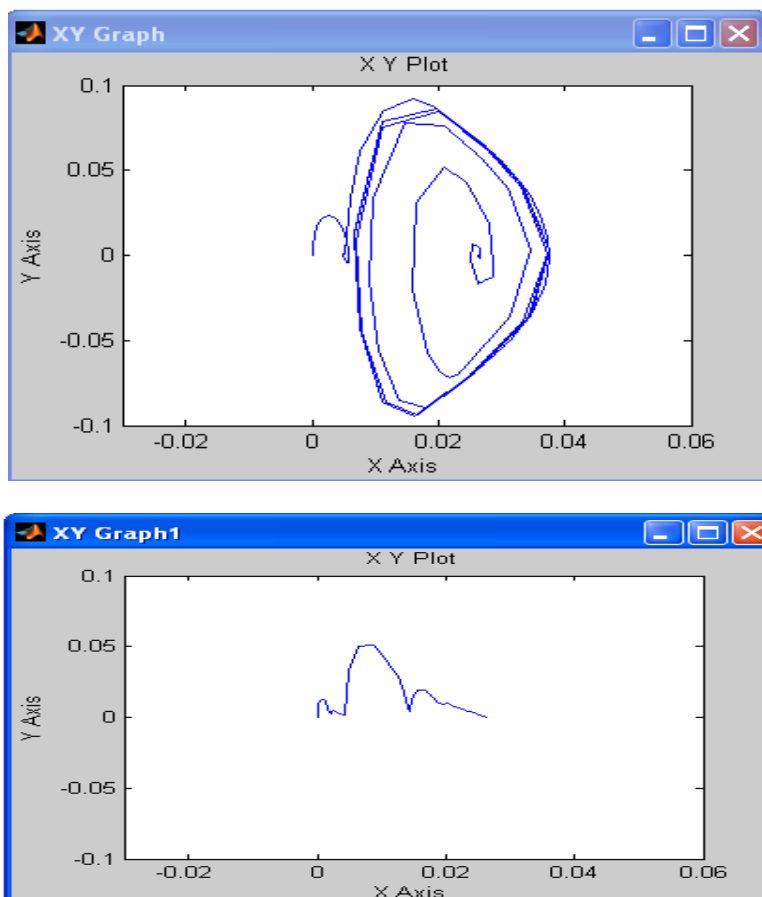


**Рис. 6. Фазовый портрет неустойчивого предельного цикла системы стабилизации при максимально возможном импульсном возмущении с линейным ПД-регулятором и алгоритмом адаптации**

Анализ графиков систем показывает, что по сравнению с системой с линейным ПД-регулятором предлагаемая система с алгоритмом адаптации в особых фазовых состояниях обеспечивает более высокие показатели качества работы системы. Если система с линейным ПД-регулятором выходит на границу (неустойчивый предельный цикл), то система с алгоритмом адаптации в особых фазовых состояниях сохраняет устойчивость движения.

### ***Список использованных источников***

1. Методы современного классической теории автоматического управления. Учебник в 5-ти томах. Том 5. Методы современной теории автоматического управления. / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004. -784с.; ил. ISBN 5-7038-2193-2
2. Канушкин С.В. Особенности адаптивного управления робототехническими системами охранного мониторинга. // Правовая информатика.– 2020. – №2.- с. 28-40. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-28-40.
3. Методы и теория оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Зайцев, С. В. Канушкин. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025.
4. Патент на полезную модель Российской Федерации № 208194. Система угловой стабилизации./ Канушкин С.В., Зайцев А.В., Мартянов С.А. (RU). По заявке № 2021125148, приоритет от 24.08.2021).

УДК 68.52

**С. В. Канушкин, И. О. Керин, И. И. Мишин**

(Военная академия Ракетных войск стратегического назначения  
имени Петра Великого, г. Серпухов, Россия)

### **УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С НЕЛИНЕЙНЫМ АЛГОРИТМОМ В ВИДЕ СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ С ДРОБНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ**

*Аннотация.* Предложен нелинейный алгоритм в виде степенной функции системы управления динамическим объектом. Система стабилизации с нелинейным алгоритмом в виде степенной функции обеспечивает устойчивость движения при аддитивных импульсных возмущениях больше по сравнению с системой угловой стабилизации с традиционным линейным ПД-алгоритмом управления.

*Ключевые слова:* управление, стабилизация, нелинейность, степенная функция, регулятор.

**STABILITY OF MOTION OF A DYNAMIC OBJECT  
WITH A NONLINEAR ALGORITHM IN THE FORM  
OF A POWER FUNCTION WITH A FRACTIONAL EXPONENT**

*Abstract.* A nonlinear algorithm in the form of a power function of a dynamic object control system is proposed. The stabilization system with a nonlinear algorithm in the form of a power function ensures motion stability under additive impulse disturbances more than the angular stabilization system with a traditional linear PD control algorithm.

*Keywords:* control, stabilization, nonlinearity, power function, regulator.

Классическое ПД-управление является довольно примитивной и упрощенной реализацией управления по ошибке на основе обратной связи. Сумма двух составляющих управления (пропорциональная и диффундирующая), в силу своей простоты, не может осуществить лучший закон управления. ПД, как закон управления, использует линейную комбинацию представления, накопления и прогнозирующей формы отслеживания ошибки.

Целесообразно от линейной зависимости обратной связи перейти к степенной функции. Степенная функция – это зависимость вида

$$y = x^{\alpha}, \quad (1)$$

где  $x$  – аргумент (основание);  $\alpha$  – постоянное действительное число (показатель степени). Смысл данной функции заключается в описании зависимостей, где изменение одной величины приводит к ускоренному или замедленному изменению другой.

В отличие от линейной функции, где все растет равномерно, степенная функция показывает накопительный эффект. Степенная функция обгонит любую линейную функцию, рано или поздно.

Не менее важным являются производные данной функции, так как они одни из самых часто используемых инструментов в математике и физике. Если координата задана степенной функцией, то производная дает точное значение скорости в любой момент. Вторая производная (ускорение) показывает перегрузки, которые испытывают конструкция.

$$y = x^\alpha; \dot{y} = \alpha \cdot x^{(\alpha-1)}; \ddot{y} = \alpha \cdot (\alpha - 1)x^{(\alpha-2)}. \quad (2)$$

**Степенная функция, в отличие от линейной, показывает накопительный эффект** (возрастание или убывание в зависимости от показателя степени). Это связано с тем, что линейная функция описывает равномерное изменение, а степенная – нелинейное поведение, которое зависит от показателя степени.

- Для целых положительных показателей  $\alpha$  степенную функцию можно рассматривать на всей числовой прямой, тогда как для целых отрицательных  $\alpha$  функция не определена в нуле (нуль – ее особая точка).

- Для нецелого показателя  $\alpha$  степенная функция определена только при  $x > 0$ .

- Графики степенной функции при натуральном показателе  $\alpha > 1$  называются параболами порядка  $\alpha$ .

- При четном  $\alpha$  степенная функция четна, ее график симметричен относительно оси ординат.

Таким образом, **степенная функция показывает накопительный эффект** (возрастание или убывание в зависимости от показателя степени), в то время как линейная функция описывает равномерное изменение.

Рассмотрим степенную функцию с рациональным (дробным) показателем. Операция возведения в дробную степень определена не для всех значений переменной  $x$ , поэтому область определения функций с дробным показателем, как положительным, так и отрицательным, ограничена. Если рациональный показатель степенной функции находится в пределах  $0 < \alpha < 1$ , то функция нечетная, монотонно возрастает, экстремумов нет, выпуклость: при  $x < 0$ : выпукла вниз при  $x > 0$ : выпукла вверх.

Свойства степенной функции с рациональным показателем, большим единицы  $\alpha > 1$ : нечетная, монотонно возрастает, экстремумов нет, при  $-\infty < x < 0$  выпукла вверх, при  $0 < x < \infty$  выпукла вниз.

Если знаменатель дробного показателя степени  $\alpha = n/m$  четный:  $m = 2, 4, 6, \dots$ . В этом случае, степенная функция не определена для отрицательных значений аргумента. Рассмотрим два класса функций: первый –  $\alpha > 1$  ( $\alpha = 1,25$ ) и второй –  $0 < \alpha < 1$  ( $\alpha = 0,75$ ). Практическая реализация подобной функции возможно с учетом следующих зависимостей:

$$i^{1,25} = i^{5/4} = \sqrt[4]{i^5} = \sqrt[2]{\sqrt[2]{i^5}} \quad 3)$$

$$i^{0,75} = i^{3/4} = \sqrt[4]{i^3} = \sqrt[2]{\sqrt[2]{i^3}}.$$

Производные данных степенных функций с рациональным показателем, так как они одни из самых часто используемых инструментов, определяются выражениями:

$$y = x^{0,75}; \dot{y} = 0,75 \cdot x^{(0,75-1)} = 0,75 \cdot x^{-0,25} = 0,75 \cdot x^4. \quad (4)$$

$$\dot{y} = \alpha \cdot (\alpha - 1) \cdot x^{(\alpha-2)} = 0,75 \cdot (-0,25) \cdot x^{-1,25} = -0,19 \cdot x^{0,8}. \quad (5)$$

$$y = x^{1,25}; \dot{y} = 1,25 \cdot x^{(1,25-1)} = 1,25 \cdot x^{0,25}. \quad (6)$$

$$\dot{y} = \alpha \cdot (\alpha - 1) \cdot x^{(\alpha-2)} = 1,25 \cdot (0,25) \cdot x^{-0,75} = 0,31 \cdot x^{1,33}. \quad (7)$$

На рисунке 1 приведена схема моделирования в системе MATLAB (Simulink) линейной функции  $y = x^\alpha$  и степенных функций с рациональным показателем ( $\alpha = 0,75$ ,  $\alpha = 1,25$ ). В схеме степенная функция с рациональным показателем реализуется с помощью функций Math Function3 и Math Function4, кроме того реализуется выражение (3) для  $\alpha = 0,75$ ,  $\alpha = 1,25$ .

На рисунке 2 приведены результаты моделирования в системе MATLAB (Simulink) линейной функции  $y = x^\alpha$  и степенных функций с рациональным показателем ( $\alpha = 0,75$ ,  $\alpha = 1,25$ ).

Из графиков (рис. 2) видно, что степенная функция с рациональным показателем ( $\alpha = 0,75$ ) опережает линейную функцию при  $x < 1$ .

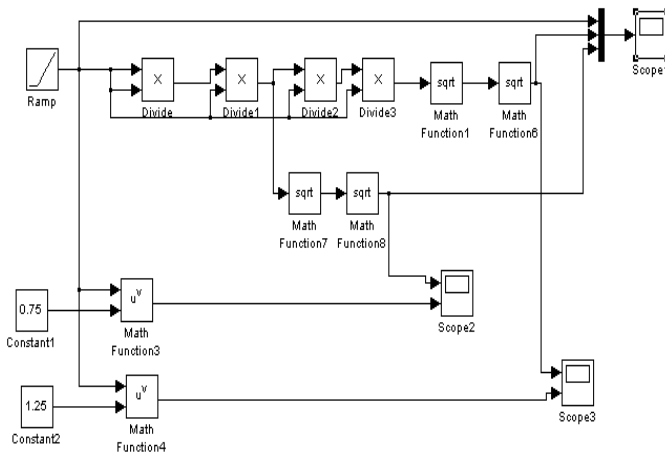


**Рис. 1. Структурная схема модели исследования нелинейной степенной функции с дробным показателем степени**

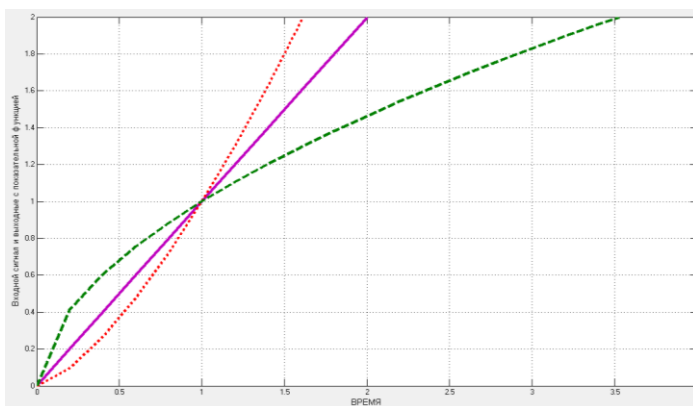


**Рис. 2. Графики изменения нелинейной степенной функции с дробным показателем степени (пунктир – при  $\alpha = 0.75$ ; точка – при  $\alpha = 1.25$ )**

Целесообразно от линейной зависимости обратной связи перейти к степенной функции. Если степень степенной функции меньше единицы существенно улучшается качество переходного процесса, уменьшается величина перерегулирования. Если степень степенной функции больше единицы улучшаются условия устойчивости.

При этом сигнал управления будет формироваться следующим образом:

$$\delta_{\psi} = |i_{\psi}|^{\alpha} \cdot \text{Sign}(i_{\psi}). \quad (8)$$

Схема нелинейного алгоритма в виде степенной функции представлена на рис. 3. При этом значение коэффициента  $\alpha = 1.25$ .

Схема состоит из оператора определения знака сигнала (Sign), блока степенной математической функции, блока определения модуля (Abs) и перемножающего устройства.

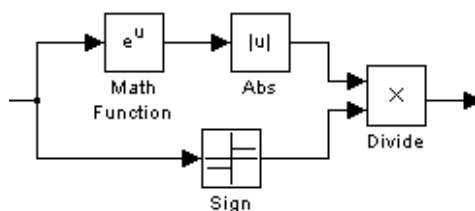


**Рис. 3. Схема псевдолинейного устройства с степенной функцией**

При этом ток управления реализуется следующим образом

$$i_{\psi} = K_{\psi}\psi + K_{\dot{\psi}}\dot{\psi}, \quad (9)$$

где  $i_{\psi}$  – ток управления;  $K_{\psi}$  – коэффициент алгоритма управления по углу;  $K_{\dot{\psi}}$  – коэффициент передачи по угловой скорости.

При исследовании динамики объекта при действии импульсного возмущения, в качестве исходных данных были взяты следующие характеристики: длительность импульса 2 с, амплитуда импульса  $1 \cdot K$  ( $\text{с}^{-2}$ ), где  $K$  – коэффициент задающий амплитуду импульса (рис. 4,  $K = 1.5346673$ ) [3].

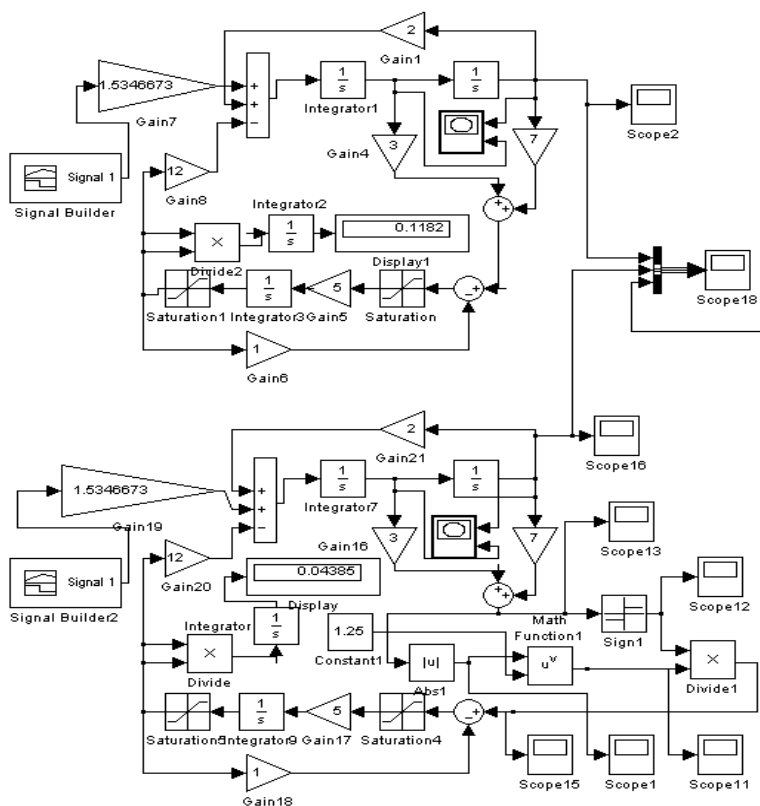


**Рис. 4. Схема моделирования углового движения ракеты с нелинейной обратной связью в виде степенной функции ( $\alpha = 1,25$ ) и с линейным управлением с импульсным возмущением**

В динамической модели учтены две основные нелинейности. В системах с ограниченной мощностью рулевых приводов скоростная характеристика имеет нелинейность типа «зона насыщения». Насыщение характеризует ограничение мощности рулевого привода и присутствует в любом реально существующем приводе. Насыщение скоростной характеристики приводит к неустойчивости движения системы при больших возмущениях или значениях фазовых координат.

Задачи по определению потребной эффективности и предельных отклонений органов управления находятся в тесной взаимосвязи и должны рассматриваться совместно. Ограничение угла отклонения органов управления связано с тем, что при большом отклонении рулей снижается их эффективность, а также существуют конструктивные ограничения.

Вид аддитивного возмущения Signal, подаваемого на вход системы угловой стабилизации, изображено на рис. 5.

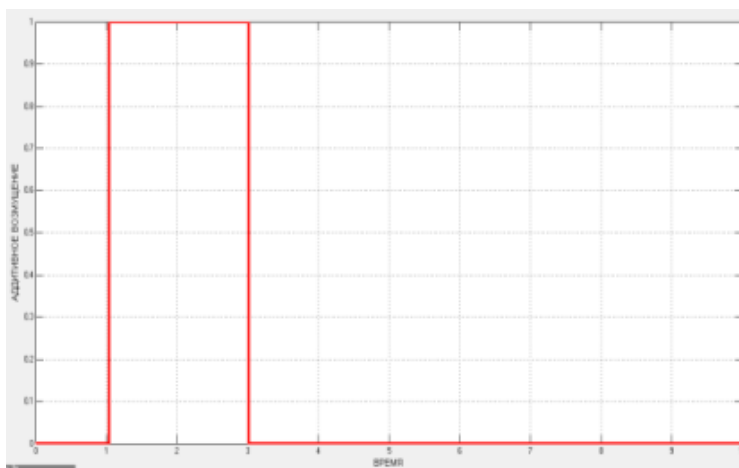


**Рис. 5. График импульсного возмущения**

Постепенно увеличивая амплитуду импульсного возмущения ( $K$ ), было определено максимальное значение возмущения аддитивного типа, которое способна выдержать система стабилизации с линейным алгоритмом, оставаясь при этом устойчивой (неустойчивый предельный цикл) (рис. 6).

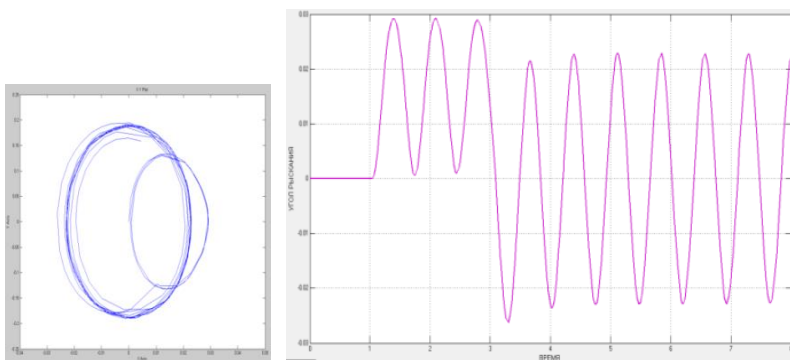


**Рис. 6. Фазовый портрет и график неустойчивого предельного цикла системы с линейным ПД-регулятором**

При амплитуде импульсного возмущения ( $K = 1.5346673$ ), динамика системы угловой стабилизации с нелинейным алгоритмом с степенной функцией остается устойчивой (рис. 7).

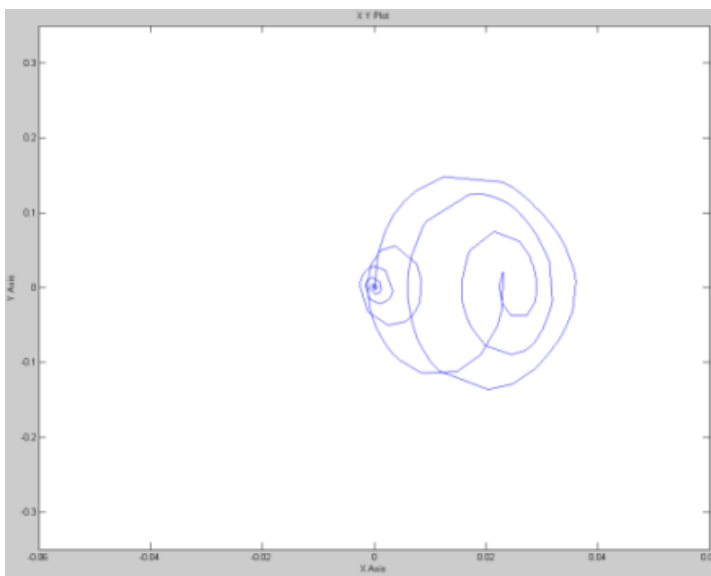


**Рис. 7. Фазовый портрет системы с нелинейным алгоритмом со степенной функцией ( $K = 1.5346673$ )**

### ***Список использованных источников***

1. Методы современного классической теории автоматического управления. Учебник в 5-ти томах. Том 5. Методы современной теории автоматического управления. / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004. – 784с.; ил.
2. Основы математического моделирования. Построение и анализ моделей с примерами на языке MATLAB: Учеб. пособие/Под ред. А. Л. Фрадкова. – СПб: БГТУ, 1994.–259 с.
3. Канушкин С.В. Особенности адаптивного управления робототехническими системами охранного мониторинга. // Правовая информатика.– 2020. -№2.- с. 28-40. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-28.
4. Методы и теория оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Зайцев, С. В. Канушкин. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025.

УДК 621.396.969.3

**М. А. Фомин, Т. У. Умиров, И. П. Медведев**

(Кафедра Энергетики, приборостроения и радиоэлектроники,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

### **НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ БПЛА ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ. АНАЛИЗ И ОСОБЕННОСТИ**

*Аннотация.* В статье рассматривается интеграция искусственного интеллекта в радиолокационные системы для защиты периметра от гражданских беспилотных авиационных систем (БАС). Актуальность обусловлена ростом угроз от небольших гражданских дронов незаметных для традиционных радаров. Цель – анализ принципов, реализации и преимуществ ИИ на базе CNN/LSTM для распознавания, траекторий и спектральных подписей БАС. Методы включают: обучение на полигонах с GAN-аугментацией и деплой на Jetson. Приведены такие результаты как снижение ложных срабатываний на 70...80%, обнаружение на 2...5 км в любую погоду. Примеры – Robin Radar IRIS, DroneShield SensorFusionAI, российские «Енот-СД»/«Джем С»/«Stupor». Выводы подтверждают автономность, экономичность и масштабируемость, а вызовы решаемы верификацией.

*Ключевые слова:* ИИ, радары, БАС, нейросети, защита периметра.

**M. A. Fomin, T. U. Umirov, I. P. Medvedev**  
(Department Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

## **NEURAL NETWORK IDENTIFICATION OF CIVILIAN UAVS. ANALYSIS AND FEATURES**

*Abstract.* The article discusses the integration of artificial intelligence into radar systems to protect the perimeter from civilian unmanned aircraft systems (UAS). The urgency is due to the growing threats from small civilian drones that are invisible to traditional radars. The aim is to analyze the principles, implementation, and benefits of CNN/LSTM-based AI for recognition, trajectories, and spectral signatures of ALS. Methods include: training at ranges with GAN augmentation and deployment on Jetson, results such as a 70-80% reduction in false alarms, detection at 2-5 km in any weather. Examples are Robin Radar IRIS, DroneShield SensorFusionAI, Russian Raccoon-SD/Jam S/Stupor. The findings confirm autonomy, cost-effectiveness and scalability, and challenges are solved by verification.

*Keywords:* AI, radars, UAS, neural networks, perimeter protection.

Гражданские беспилотные авиационные системы (БАС) стали неотъемлемой частью современной жизни: различные адаптируются под новые реалии и планируют использовать дроны для доставки посылок на большие расстояния, сельскохозяйственные квадрокоптеры DJI Agras мониторят поля площадью тысячи гектаров, снимая NDVI-индексы для точного земледелия, а инспекционные системы на базе Parrot Anafi inspectируют ЛЭП протяженностью сотни и тысячи километров и мосты в труднодоступных районах Сибири и Арктики. Однако для различных объектов критической инфраструктуры, таких как различные промышленные комплексы нефтепереработки, аэропорты с интенсивным трафиком, к примеру тот же аэропорт Шереметьево который обслуживает 50+ млн пассажиров ежегодно, различных правительственных учреждений -неавторизованные БАС создают риски разглашения конфиденциальной информации, различного иного вредительства- вплоть до саботажа в работе и даже катастроф в которых могут пострадать люди, так например в 2023 году хоббийный Mavic Mini нарушил работу аэропорта Гатвик на 2 часа из-за чего десятки тысяч пассажиров не смогли покинуть Лондонский аэропорт, а инциденты с квадрокоптерами над атомными станциями фиксируются регулярно. Традиционные радары обнаруживают только крупные цели с эффективной площадью рассеивания  $>1 \text{ м}^2$ , пропуская гражданские

БАС, эффективная площадь рассеивания которых составляет  $0,001 \dots 0,01 \text{ м}^2$ , чей слабый радарный след просто теряется. Искусственный интеллект на базе сверточных CNN и рекуррентных LSTM нейросетей анализирует спектограммы радаров, извлекая уникальные сигнатуры БПЛА – вращение пропеллеров с частотой  $50 \dots 200 \text{ Гц}$ , рывко-маневренные траектории ускорение которых составляет  $>3g$  и спектральные линии бесколлекторных моторов.

Применение ИИ в радиолокационных системах радикально меняет подход к защите периметра от гражданских БПЛА, что подтверждается конкретными техническими характеристиками и результатами эксплуатации реальных систем. Обычный радар посылает радиоволны и по отраженному сигналу определяет расстояние, скорость и примерный размер цели, но сигнал от малоразмерных гражданских БАС с эффективной площадью рассеивания  $0,001 \dots 0,01 \text{ м}^2$  слишком слаб для стабильного обнаружения. ИИ на базе нейросетей, сверточных CNN и рекуррентных LSTM кардинально улучшает ситуацию: например, радар IRIS компании Robin Radar использует технологию микродоплеровской классификации и глубокие нейронные сети DNN, чтобы различать вращающиеся лопасти и отличать дроны от птиц, обеспечивая 360-градусное покрытие в 3D, угол обзора  $60^\circ$  по возвышению и инструментальную дальность обнаружения 5 км. При этом система может работать в любую погоду и круглогодично.

Благодаря обратной связи от боевого применения на Украине, где дроны типа Shahed стали ежедневной угрозой, Robin Radar выпустила исключительно программное обновление в режиме Long-Range Mode, которое позволяет увеличить дальность обнаружения до 12 км без замены аппаратной части, переключаясь между режимами за несколько минут. Это демонстрирует гибкость ИИ-решений, которые могут совершенствоваться через обновление алгоритмов.

В свою очередь, система SensorFusionAI от DroneShield интегрирует данные от разнородных сенсоров – радиочастотных детекторов, радаров, акустических датчиков и оптических устройств – и с помощью продвинутых ИИ-алгоритмов не просто накладывает данные, а заставляет сенсоры «сотрудничать». При расхождении показаний система не использует классическое «голосование большинства», а взвешенно оценивает надежность каждого сенсора в конкретных обстоятельствах, что позволяет генерировать более точную оценку угрозы. Это обеспечивает меньше ложных срабатываний и более быстрое реагирование.

На территории Российской Федерации в аэропорту Шереметьево развернута многоуровневая система защиты, созданная и разработанная так же в России, включающая радиолокационные станции «Енот-СД» для автоматического обнаружения низколетящих малых целей, в том числе беспилотных судов малого класса взлетной массой от 0,25 кг, их верификации по видеоизображению, а также оборудование направленного подавления «Джем-С». Предполагается, что система должна использовать специализированные алгоритмы нейронных сетей и искусственного интеллекта для радиолокационного обнаружения, классификации, сопровождения объектов и радиочастотного анализа с функцией позиционирования БВС и наземного пункта управления.

Таким образом, в результате применения ИИ ложные срабатывания снижаются на 70...80%, обнаружение мелких БАС происходит на расстоянии начиная от 2...5 км и вплоть до 12 км в режиме LRM, даже ночью или в плохую погоду, а нейросети анализируют микродоплеровский эффект от вращающихся пропеллеров (дрожание сигнала на частоте 50...200 Гц), типичные рывко-маневренные траектории квадрокоптеров (в отличие от плавного полета птиц) и спектральные особенности моторов.

Эффективность методов аугментации данных с использованием генеративно-состязательных сетей GAN для обучения моделей обнаружения подтверждена научными исследованиями: предложенный российскими учеными метод контекстной аугментации малых объектов (CSOA) на основе сетей сверхвысокого разрешения, например такие как Real-ESRGAN и SwinIR значительно повышает точность детектирования малоразмерных объектов на изображениях с БПЛА, сохраняя вычислительную эффективность моделей. Проблема уязвимости нейросетей к спуфинг-атакам, когда злоумышленники внедряют ложные сигналы, имитирующие дрейф, призрачные или зеркальные цели – активно исследуется, и разрабатываются специализированные бенчмарки для оценки устойчивости радарных трекеров к таким атакам.

Реализация интеграции ИИ в радарных комплексах – это длительный поэтапный процесс. Сначала идет сбор данных: на полигонах запускают сотни дронов в основном самые популярные в мире – DJI, Autel, а также другие хоббийные модели, фиксируя радарные записи в разных условиях – день и ночь, дождь и ветер, а так же зависящие

от количества дронов – например одиночные или рой БАС. Эти данные (миллионы спектограмм) аннотируют и используют для обучения нейросетей на мощных серверах с GPU. Модели вроде ResNet или YOLO адаптируют под радарные изображения: сеть учится извлекать особенности – размеры, скорость, сигнатуру и классифицировать с точностью 95%. Затем ИИ «вшивают» в аппаратную часть радара – на компактные чипы вроде NVIDIA Jetson Nano или Xavier, которые работают автономно на периметре без интернета, и в идеальных условиях способны выдавать задержку менее 50 мс. Ключевой элемент sensor fusion: ИИ объединяет радар с камерами которые в свою очередь распознают форму, микрофонами, а так же различными RF-сканерами. Примером чего может являться портативный AIRaD X-диапазона использующий глубокое обучение для классификации дронов и грузов в условиях реального времени, и в теории может быть идеален для временных периметров. Echodyne EchoShield с их MESA радарными представляющими собой электронно-сканирующие решетки так же добавляет ИИ для обнаружения роев и одиночных БАС на расстоянии 1...4 км и легко интегрируется в C-UAS платформы вроде Dedrone. В российской радиолокационной станции «Stupor» ИИ управляет не только детекцией, но и подавлением, он способен глушить сигналы GPS или видео на расстояние вплоть до 2 км, защищая инфраструктуру от роев и одиночных целей. Схема работы достаточно же простая : радар обнаруживает цель или цели, а в свою очередь ИИ фильтрует и классифицирует для дальнейших действий в автономном режиме.

Но реализация не обходится без определенных проблем. Главная проблема на текущий момент – нехватка данных для редких моделей и форм дронов, а также различных сложных условий – например рой или туман. Решением же данной проблемы является аугментация: специальные программы вроде GAN способны генерировать тысячи «виртуальных» сценариев на основе реальных записей, повышая устойчивость модели. Еще одна сложность – adversarial атаки, когда злоумышленники добавляют шум в сигнал, сбивая ИИ. Противодействием от данной проблемы является многоуровневая проверка rule-based фильтры + ИИ и постоянное обновление сети новыми данными из поля. Тестирование в реальных условиях, как в программе U-Space EC, показывает обнаружение 98% БАС на 5 км даже в роевом режиме.

Применение нейросетевых алгоритмов в системах идентификации БПЛА обладает определенным рядом ключевых преимуществ, делающих их незаменимыми для защиты периметра от гражданских беспилотников. В первую очередь, данные алгоритмы способны обеспечивать возможность обнаружения мелких целей с размахом крыльев 0,5-2 м на расстоянии 2-5 км. Во-вторых, ИИ, такой как например CNN, LSTM, ResNet, YOLO анализируют эффект от пропеллеров, уникальные рывко-маневренные траектории квадрокоптеров и спектральные подписи моторов, снижая ложные срабатывания на 70-80% по сравнению с традиционными радарами. В-третьих, скорость их реакции может составлять менее 1-2 секунд с задержкой обработки менее 50 мс. Заключительным преимуществом будет являться -sensor fusion, в данном случае ИИ интегрирует данные радара, камер, акустики и RF-сканеров), достигая точности классификации 95%+ в рамках обнаружения типовых моделей DJI Mavic, Parrot Anafi, Autel и других схожих хоббийных дронов. Пятым пунктом стоит отметить – масштабируемость и экономичность: один подобный комплекс охраняет километры периметра, заменяя бригады дежурных операторов и минимизируя эксплуатационные затраты, как показано в реальных системах Robin Radar IRIS, в котором воссоздаются 3D-траектории полета и имеется система подавления для аэропортов, DroneShield SensorFusionAI с предикцией путей с контрмерами различного характера, Echodyne EchoShield способный обнаруживать рои БАС на расстояние до 4 км в C-UAS Dedrone и российский «Енот-СД» с комплексом подавления «Джем С» применяющийся на данный момент в Шереметьево, верифицировать летательные аппараты по видео, а также подавлять данный тип летательных аппаратов или «Stupor» имеющий возможность глушение GPS и видео сигналов на расстояние 2 км для энергетики, границ а так же территорий режимного характера. Наконец, ИИ в подобных комплексах адаптируется к новым угрозам через GAN-аугментацию данных с полигонов (миллионы спектограмм одиночных/роевых сценариев), обеспечивая устойчивость к adversarial атакам и повышая эффективность на 40% по сравнению с аналогами, что делает такие системы идеальным решением для критической инфраструктуры. В заключение, стоит отметить, тот факт, что интеграция ИИ в радиолокационные системы – это инструмент защиты периметра от гражданских БАС, проверенный в Robin Radar IRIS, DroneShield, Echodyne EchoShield и российских «Енот-СД» Она соче-

тает скорость реакции за 1-2 секунды, обеспечивает точность 95%+, автономность и значительную экономию финансовых средств. Плюсы таких готовых решений очевидны: меньше ложных тревог, работа в любую погоду, предикция угроз. Минусы же по большей части решаемы тестами и обновлениями алгоритмов искусственного интеллекта.

В заключение, стоит отметить, тот факт, что интеграция ИИ в радиолокационные системы – это инструмент защиты периметра от гражданских БАС, который только начинает свое развитие но уже проверенный в Robin Radar IRIS, DroneShield, Echodyne EchoShield и российских «Енот-СД». Она сочетает скорость реакции за 1–2 секунды, обеспечивает точность 95%+, автономность и значительную экономию финансовых средств. Плюсы очевидны: меньше ложных тревог, работа в любую погоду, предикция угроз. Минусы же по большей части решаемы тестами и обновлениями алгоритмов искусственного интеллекта.

### ***Список использованных источников***

1. Архипов П. О., Филиппских С. Л., Цуканов М. В. Особенности практической реализации метода аугментации малых объектов на основе сетей сверхвысокого разрешения // Системы и средства информатики. – 2025. Т. 35, № 3. – С. 92–104. -DOI: 10.14357/08696527220209.

2. Кузнецов С., Королев М. Разработка интеллектуального ПО для аудиального распознавания типов БПЛА: сообщение пресс-службы СГТУ им. Гагарина Ю.А. от 05.08.2025 [Электронный ресурс] // РУБЕЖ. -2025. URL: <https://www.aviastat.ru/news/286365news-v-saratove-razrabotali-sistemu-raspoznavaniya-bpla-po-akusticheskim-signalam> (пресс-служба СГТУ им. Гагарина).

3. Ростех. В изделиях реализован нейросетевой алгоритм, позволяющий автоматически обнаруживать, распознавать и сопровождать объекты: сообщение пресс-службы от 14.11.2025 [Электронный ресурс] // Ростех. -2025. URL: <https://rostec.ru/media/news/rostekh-nachal-seriynoe-proizvodstvo-umnykh-sistem-nablyudeniya-dlya-udarnykh-dronov/> (серийное производство ГОЭН-60).

4. Цветков М. В. Применение глубокого обучения для идентификации паттернов управления дронами в реальном времени с использованием распределенных сенсорных сетей // Успехи современной радиоэлектроники. – 2025. URL: [http://radiotec.ru/ru/journal/Achievements\\_of\\_Modern\\_Radioelectronics/number/2025-6/article](http://radiotec.ru/ru/journal/Achievements_of_Modern_Radioelectronics/number/2025-6/article)

5. Рашид Б., Родионов О. А. Методы противодействия кибератакам на систему машинного обучения БПЛА // Технологии и техника: пути инновационного развития: сборник научных статей Международной научно-

технической конференции (Воронеж, 9 июня 2023 г.). -Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. -С. 418–430.

6. В.Т. Грумондз Е.И. Карпежников Оптимальное управление группой беспилотных планирующих летательных аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2021. № 4 (137). -С. 4–23. – DOI: 10.18698/0536-1044-2021-4-4-23.

7. Белоусов О.А., Сайфуллозода К.С. Повышение эффективности адаптации каналов связи в системах LTE/LTE-A с использованием продвинутых методов и алгоритмов //Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сборник трудов X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной «Дню радио и связи» и 80-летию победы в Великой Отечественной войне, Тамбов, 07 мая 2025 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2025. – 352 с. – ISBN 978-5-8265-2927-0. – EDN OLYBPH.

8. Тришаков, А. А. Способы формирования пространственных сигналов в сетях мобильной связи 5 поколения при реализации технологии *mu*-MIMO и *beamforming* с использованием высокоэффективных антенных систем / А. А. Тришаков, О. А. Белоусов, М. М. Паршкова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы X Международной научно-практической конференции, Тамбов, 21–22 октября 2024 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. – С. 141-143. – EDN FYWJTB.

9. Белоусов, О. А. Использование интеллектуального датчика в системе управления объектами с изменяющимися теплофизическими свойствами / О. А. Белоусов, Д. Ю. Муромцев, М. П. Беляев // Метрология, стандартизация, качество: теория и практика : материалы Международной научно-технической конференции, Омск, 14–16 ноября 2017 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2017. – С. 89-95. – EDN YKVSUW.

**А. А. Комиссаров**

(Кафедра мехатроники и технологических измерений,  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия)

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФИЛЬТРОВ В МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ КАМЕРЕ**

*Аннотация.* В настоящее время во многих отраслях промышленности активно внедряются системы автоматизированного контроля качества продукции. Особое внимание уделяется методам неразрушающего контроля, позволяющим выявлять дефекты и оценивать состояние объектов без нарушения их целостности. Одним из перспективных направлений является применение мультиспектральных камер, которые обеспечивают получение информации об объекте одновременно в нескольких спектральных диапазонах.

*Ключевые слова:* мультиспектральные системы, тестирование, основные массивы.

**A. A. Komissarov**

(Department of mechatronics and technological measurements,  
Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

## **OPTIMIZATION OF THE FILTER ARRANGEMENT IN A MULTISPECTRAL CAMERA**

*Abstract.* Currently, automated product quality control systems are being actively implemented in many industries. Special attention is paid to non-destructive testing methods, which make it possible to identify defects and assess the condition of objects without violating their integrity. One of the promising directions is the use of multispectral cameras, which provide information about an object simultaneously in several spectral ranges.

*Keywords:* multispectral systems, testing, basic arrays.

### **Введение.**

В настоящее время во многих отраслях промышленности активно внедряются системы автоматизированного контроля качества продук-

ции. Особое внимание уделяется методам неразрушающего контроля, позволяющим выявлять дефекты и оценивать состояние объектов без нарушения их целостности. Одним из перспективных направлений является применение мультиспектральных камер, которые обеспечивают получение информации об объекте одновременно в нескольких спектральных диапазонах.

Мультиспектральные системы находят широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и экологическом мониторинге. В области неразрушающего контроля они используются для обнаружения скрытых дефектов материалов, оценки качества покрытий, выявления трещин, коррозии и других неоднородностей, которые могут быть незаметны при визуальном осмотре. Анализ изображений, полученных в различных спектральных диапазонах, позволяет повысить достоверность контроля.

В данной работе рассматривается мультиспектральная камера разработанная в НИЛ «ИБРП» УФиПИ ТГТУ. Она предназначена для съемки интересующих объектов в заданной длине волны.

Для стабильной работы диска с фильтрами находящегося внутри камеры, требуется его уравнивать, из-за весовой разности фильтров. Эта итерационная задача, и при большом количестве вырезов для фильтров количество комбинаций их расположения растет в факториальная последовательности.

Целью данной работы является разработка программы для оптимального расположения фильтров на диске мультиспектральной камеры. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- обзор исходные параметры мультиспектральной камеры;
- обзор математической модели;
- обзор программной части и разработка алгоритма управления для оптимального расположения фильтров;
- результат тестирования программы.

#### 1. Исходные параметры мультиспектральной камеры

Мультиспектральная камера – это оптико-электронная система, предназначенная для регистрации электромагнитного излучения объекта одновременно в нескольких отдельных спектральных диапазонах (например, видимом, ближнем инфракрасном и других). В отличие от

обычных RGB-камер, которые формируют изображение только в трех каналах (R, G, B), мультиспектральные камеры позволяют получать более детальную спектральную информацию о свойствах поверхности объекта, что используется для анализа материалов, выявления дефектов и оценки состояния объектов в задачах дистанционного зондирования и неразрушающего контроля [1].

Диск от мультиспектральной камеры разработанной в НИЛ «ИБРП» УФиПИ ТГТУ имеет следующие параметры:

- 9 вырезов в диске для фильтров;
- 72.5 мм удаление от центра диска до его выреза для фильтра;
- 25 мм диаметр фильтра;
- значения масс фильтров и кольца, 3.5, 2.3, 3.7, 3.6, 4.3, 5.4, 5.1, 3.6, 3.1.

## 2. Математическая модель

Так как эти параметры могут меняться, а именно количество фильтров и их масса, а также параметры самого диска, было принято решения разработать математическую модель для подбора дисков, чтобы центр масс находился соосно с вращением самого диска. Для исключения дисбаланса и достижение постоянной линейной скорости на всех участках диска.

Для оценки смещения центра масс воспользуемся формулой (1)

$$r_c = \frac{\sum_i m_i r_i}{\sum_i m_i}. \quad (1)$$

Формулу (1) применяется для x и y оси координат [2].

После этого подсчитывается вектор центр масс по формуле (2)

$$\vec{r} = \sqrt{r_{cx}^2 + r_{cy}^2}. \quad (2)$$

После подсчетов, становится известен вектор центр масс диска мультиспектральной камеры.

## 3. Обзор программной части

Для реализации алгоритма, описание которого представлено в предыдущем разделе, была написана программа с использованием языка программирования python [3, 4]. Графический вывод и вывод информации представлен на рис. 1 и 2.

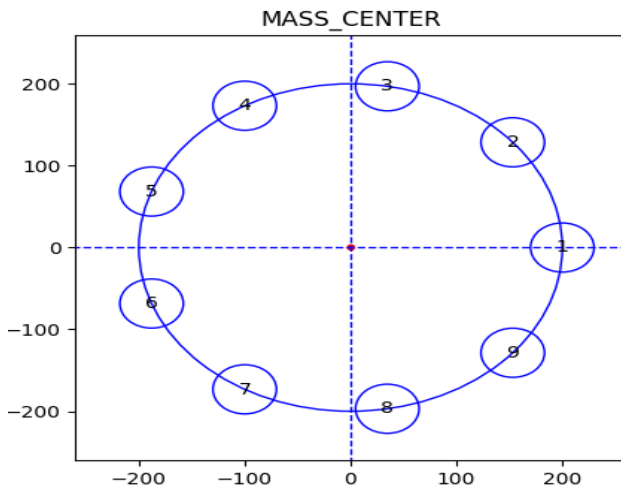


**Рис. 1. Графический вывод диска  
с расположенными на нем фильтрами**

На рисунке 1 отрисован диаметр диска, на котором расположены фильтры, они выставлены в нужной последовательности, так как центр масс указанной красной точкой. Цифры обозначают позицию расположения фильтров.

На рисунке 2 представлен вывод информации по ходу выполнения программы. Основные переменные: Standard disc diameter – обозначает диаметр диска, Standard filter diameter – обозначает диаметр фильтра, Center of mass at coordinate x – центр масс по координате x, Center of mass at coordinate y – центр масс по координате y, Center of mass module – вектор центра масс, Minimum value of the center of mass – минимальное значение вектора центра масс, Maximum value of the center of mass – максимальное значение вектора центра масс.

Основные массивы: Standard filter wavelength parameters – длина волны пропускаемая фильтром, Standard filter weight – вес фильтров, Disk position number – номера фильтров, Angular coordinates of filters – угол расположения фильтров, Preferred filter arrangement – рекомендуемом расположения фильтров по весу.

```

Standard disc diameter: 400
Standard filter diameter: 60
Standard filter wavelength parameters: [540, 480, 270]
Standard filter weight: [2, 9, 8, 3, 6, 3, 9, 7, 4]
Disk position number: [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
Angular coordinates of filters: [0.0, 40.0, 80.0, 120.0, 160.0, 200.0, 240.0, 280.0, 320.0]
Center of mass at coordinate x: 0.41594838618622737
Center of mass at coordinate y: 0.11236787731482033
Center of mass module: 0.4308591415105005
Preferred filter arrangement: [2 9 8 3 6 3 9 7 4]
Minimum value of the center of mass: 0.4308591415105005 for a combination: 0
Maximum value of the center of mass: 64.03845165569332 for a combination: 15018

```

**Рис. 2. Вывод информации и параметров в командную строку**

На рисунке 3 представлены данные записанные в файл с названием data.txt.

Данные должны быть записаны в той же последовательности что и на рис..

Основные переменные: dia\_disk – обозначает диаметр диска, dia\_filter– обозначает диаметр фильтра.

Основные массивы: number\_disk – номера фильтров, wave\_lenght\_disk – длина волны пропускаемая фильтром, weight\_disk – вес фильтров.

---

```

dia_disk=400
dia_filter=60
nuber_disk=[1,2,3,4,5,6,7,8,9]
wave_lenght_disk=[540,480,270]
weight_disk=[3,9,9,3,6,7,9,4,8]
#3.1,5.4,3.5,6.3,4.5,3.5,3.3,3.4,3.7

```

**Рис. 3. Данные записанные в файл**

#### 4. Результат тестирования программы

В данном разделе рассматривается тестирование программы для оптимального расположения фильтров.

На рисунке 4 показан диск, с заведомо измененным весом первого фильтра на 9 грамм, вместо 2.

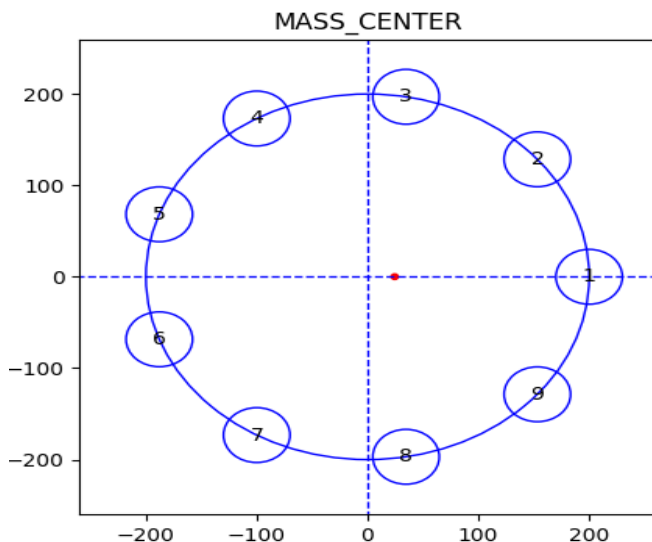


**Рис. 4. Графический вывод диска с расположенными на нем фильтрами с измененным 1 фильтром**

На рисунке 3 представленном выше заметим, что центр масс сместился к 1 фильтру из этого можно сделать вывод, что программа работает корректно.

Программа рекомендует расположить фильтры в последовательности представленном на рис. 5.

```
Preferred filter arrangement: [3 9 9 3 6 7 9 4 8]
```

**Рис. 5. Массив с расположением фильтров по весам**

Попробуем расположить фильтры, как рекомендует нам программа, результат представлен на рис. 6.

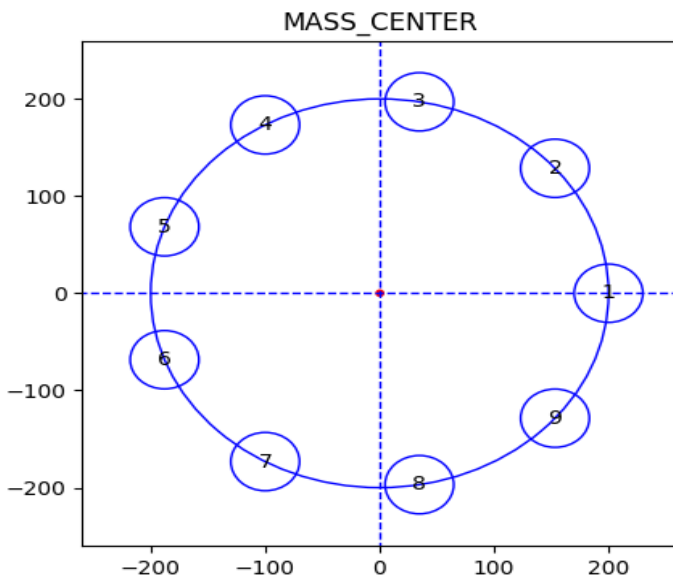


**Рис. 6. Массив с расположением фильтров по весам**

На рисунке 6 видно, что центр масс оказался соосно с осью вращения, программа работает корректно.

Были выявлены следующие особенности программы при тестировании:

- чем больше количество фильтров, тем дольше будет выполняться программа, так-как время выполнения ее зависит от последовательности факториала количества фильтров;
- минимальное и максимальное значение вектора центра масс было добавлено для случаев с маленьким количеством фильтров менее 4, в таких случаях они будут равны, это означает что при любом расположении, будет смещен центр масс;
- завершение программы происходит после закрытия схемы расположения фильтров;
- файл с данными под названием data.txt должен находиться в той же директории что и программа;
- последовательность записи строк не должна меняться

– отсутствие файла с данными, приведет не фатальной ошибке и закрытию программы, а вместо этого она возьмет значение по умолчанию из собственно памяти.

### **Выводы.**

В ходе выполнения работы, поставленные цель и задачи были достигнуты в полном объеме. Были представлены исходные параметры диска мультиспектральной камеры разработанной в НИЛ «ИБРП» УФиПИ ТГТУ.

Далее разработана математическая модель для оптимального расположения фильтров.

В следующем разделе разработан алгоритм управления для оптимального расположения фильтров.

Далее проведен обзор программной части для оптимального расположения фильтров.

На последнем этапе данной работы произведено тестирование программы для оптимального расположения фильтров, также сформирован результат по тестированию программы.

Результатом данной работы является разработка алгоритма управления для оптимального расположения фильтров и программы. Важной частью является тестирование программы для оптимального расположения фильтров. Реализация такого алгоритма позволит в дальнейшем использовать мультиспектральную камеру, изменение количества фильтров, без настройки и подбора параметров в самой ПО камеры, а путем физическим изменением параметров диска. С помощью этого алгоритма и программы, можно легко добиться стабильности вращения диска.

### ***Список использованных источников***

1. Писецкая О. Н., Шулякова Т. В., Ярмоленко А. С. Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли // Учебно-методическое пособие. – Горки: БГСХА, 2020. – 174 с.
2. Центр масс – URL : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Центр\\_масс](https://ru.wikipedia.org/wiki/Центр_масс) (дата обращения 03.06.2026)
3. Python официальный сайт – URL : <https://www.python.org> (дата обращения 03.06.2026).
4. Python стандарт PEP 8 – URL : <https://peps.python.org/pep-0008/> (дата обращения 03.06.2026).

Научное электронное издание

**ВОЙСКА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ.  
ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ  
V ВСЕРОССИЙСКОЙ ВОЕННО-ИСТОРИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Тамбов, 9 апреля 2026 г.

**ELECTRONIC WARFARE TROOPS.  
HISTORY, CURRENT STATE,  
AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

COLLECTION OF SCIENTIFIC ARTICLES FROM THE V ALL-RUSSIAN  
MILITARY-HISTORICAL CONFERENCE

Tambov, April 9, 2026

Компьютерное макетирование  
А. В. Зайцева, В. В. Алексеева, А. С. Мартынова  
Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой

ISBN 978-5-8265-3042-9



Подписано к использованию 26.06.2026.  
Тираж 100 шт. Заказ № 82

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5,  
помещение 2, к. 14.  
Телефон (4752) 63-81-08.  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru