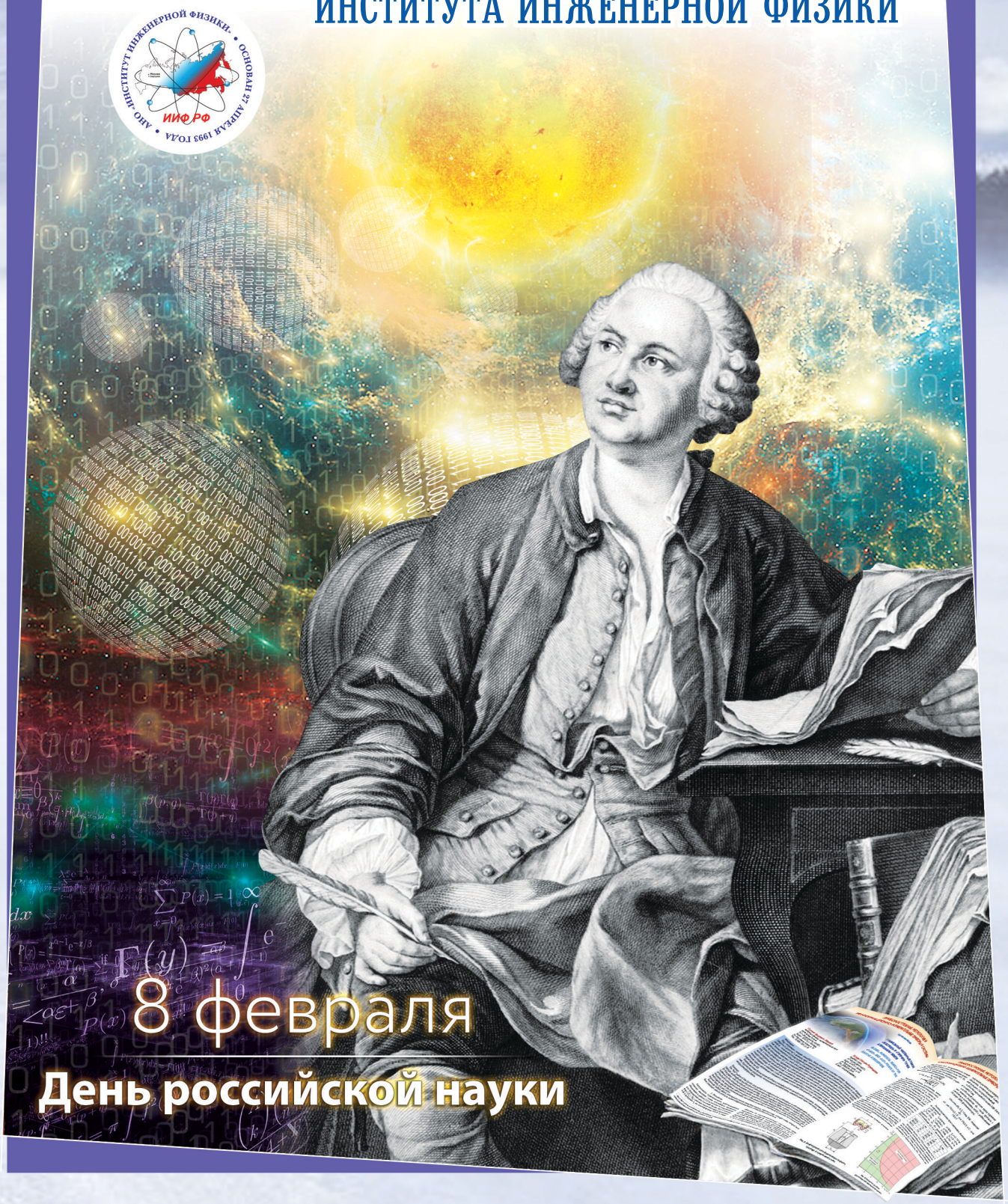
№ 1 +0
2023 [67]

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



Автономная некоммерческая организация
“Институт инженерной физики”

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 **Анпилогов М.А., Либман М.С.**
Компьютерный тренажер БРК «Бал-Э»

8 **Короткий О.А., Врублевский Н.Ф., Лоскутов С.А., Глебов С.А.**
О методах контроля зазора между преобразователем и объектом

11 **Короткий О.А., Лоскутов С.А., Корнеев А.А.**
Системы управления мобильным роботом

16 **Коломбет В.А., Лесных В.Н., Елистратов А.В.**
Доопределение кватерниона

19 **Рыбин И.А., Роговой А.В., Горанов М.З., Мамонтов А.Н., Селиверстов А.В.**
Метод расчета частотных характеристик акустических пространственных шумоподавляющих устройств на инфразвуковых станциях

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

22 **Николаев П.В., Аксёнов А.В.**
Методы оценки радиолокационной наблюдаемости

26 **Бодрышев В.В., Ларин А.А.**
Дефектоскопия радиопрозрачных укрытий. Обнаружение и визуализация дефектов

31 **Бут Р.О., Самбуров Н.В.**
Сверхширокополосная штыревая антенна диапазона УКВ

34 **Самбуров Н.В.**
Участки траектории экстремальные для измерителя

38 **Аксёнов А.В., Самбуров Н.В.**
Интервал временной корреляции эхосигналов от надводных объектов

42 **Цимбал В.А., Тоискин В.Е.**
Многочастотный MIMO радиоканал в декаметровом диапазоне: основные положения и направления исследований

48 **Цимбал В.А., Караев Д.А.**
Математическая модель резервирования направлений информационной радиосети соединения РВСН спутниковыми каналами в условиях РЭП

51 **Цветков К.Ю., Ерунов А.А., Леванов Д.В.**
Имитационная модель спутникового стеганоканала в среде передачи с потерями

56 **Зеленевский В.В., Попов А.В., Зеленевский Ю.В., Наконечный А.Б.**
Статистическая оценка качества райсовского радиоканала метрового диапазона

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

59 **Мазин А.В., Стадник А.Н., Скрыль К.С., Коровин И.И., Башаева Э.Р.**
Оптимизация антивирусной защиты в автоматизированных системах управления специального назначения: формальные основания для распределения временного ресурса

64 **Бутырский И.Ф., Петрищев Н.В.**
Способ передачи данных между разделёнными «воздушной прослойкой» медными линиями информационно-телекоммуникационных сетей без использования съёмных носителей информации

68 **Старожук Е.А., Зарубин В.С., Мазин А.В., Астрахов А.В., Ходырев Т.Б., Холод Д.А.**
Методические аспекты оценки эффективности мер предотвращения нарушения режима охраны морских портов арктической зоны

73 **Гуков И.М., Мирошников Е.М., Никитин А.К., Сухарев В.Г.**
Адаптация алгоритма оцифровки при изменениях яркости объекта

77 **Павлов А.А., Романенко Ю.А., Корнеев И.И., Пашаев О.Ф., Макеев М.И., Павлов Ф.А., Романенко А.Ю.**
Методический аппарат коррекции ошибок при выполнении арифметических операций

82 **Атакищев О.И., Грибунин В.Г., Лысачев М.Н., Смирнов Д.В.**
Метаграмматический подход анализа иерархий и особенности его применения при создании систем обеспечения информационной безопасности атомных станций малой мощности

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

89 **Краснова Ю.В., Чистякова А.В.**
Стандартизация лекарственного препарата «ТАМЕРОН®» с применением ИК-спектрометрии

92 **Ермаков А.М., Руднев Д.С., Царькова Е.А.**
Нанопоровое секвенирование ДНК и РНК – передовая технология определения нуклеотидных последовательностей

НАУКОМЕТРИЯ

97 **Емелин Н.М.**
Критерии и показатели результативности деятельности государственных научных центров

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

100 **Григоренко О.А., Шолохов А.В.**
Деловые игры при обучении профессионально-ориентированному иностранному языку

105 **AUTHORS**

107 **ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ**

108 **ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ**

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№1 (67) 2023

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

ISSN 2073-8110

Включен в «Перечень ВАК» по научным специальностям:
2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы
2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций
2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации
2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Главный редактор,
председатель редакционного совета
и редакционной коллегии

Алексей Николаевич Царьков
Президент АНО «Институт инженерной физики», заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Редакционный совет

Геннадий Иванович Азаров
главный научный сотрудник ФГУП «16 ЦНИИИ МО РФ» заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, лауреат Государственной премии РФ, лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор

Сергей Владимирович Дворянкин
начальник департамента Государственной корпорации «РОСТЕХ» ОАО КРЭТ, доктор технических наук, профессор

Николай Михайлович Емелин
главный научный сотрудник ФГБУ НТИМИ, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор

Валерий Иванович Николаев
научный референт ОАО «Концерн «Созвездие», лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор

Владимир Георгиевич Редько
заместитель руководителя Центра оптико-нейронных технологий НИИ системных исследований РАН, доктор физико-математических наук

Юрий Александрович Романенко
старший научный сотрудник филиала ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов) заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Анатолий Васильевич Тодосийчук
главный советник аппарата Комитета ГД ФС РФ по образованию и науке, почетный работник науки и техники РФ, доктор экономических наук, профессор

Игорь Анатольевич Шеремет
заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по науке, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 1 2023
67

Редакционная коллегия

Олег Николаевич Андрух
почетный работник науки и техники РФ, кандидат технических наук, доцент

Борис Фёдорович Безродный
доктор технических наук, профессор

Сергей Борисович Беркович
почетный геодезист РФ
доктор технических наук, профессор

Владимир Эрнестович Бородай
лауреат Государственной премии СССР, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ, почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Вадим Геннадьевич Грибунин
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, доцент

Сергей Григорьевич Данилюк
доктор технических наук, профессор

Владимир Владимирович Зеленевский
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
выпускающий редактор

Олег Павлович Кузнецов
кандидат технических наук, доцент

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор

Анатолий Викторович Мазин
доктор технических наук, профессор

Алексей Сергеевич Марков
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Дмитрий Геннадьевич Митрофанов
заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор

Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук
заместитель главного редактора

Игорь Николаевич Оков
доктор технических наук, профессор

Владимир Петрович Пашинцев
заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор

Дмитрий Вячеславович Смирнов
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, доцент

Сергей Владимирович Смуров
почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Сергей Николаевич Шиманов
почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный радист РФ, доктор технических наук, профессор

Андрей Алексеевич Петраков

Генеральный директор
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»

Дорогие друзья!
Уважаемые коллеги!

1 февраля АО «НПП «Калужский приборостроительный завод «Тайфун» отмечает юбилей – 50 лет со дня создания!

На сегодняшний день «Тайфун» является одним из ведущих научно-производственных предприятий оборонно-промышленного комплекса Калужской области, участвует в Гособоронзаказе, в качестве головного исполнителя выполняет научные разработки.

Немного истории. В 1973 году заводу «Тайфун» поручено организовать производство РЛС типа «Гарпун», «Топаз», «Подкат», «Мост» для надводных кораблей ВМФ и экспортных заказов. «Тайфун» определен заводом-изготовителем двухкоординатной РЛС «Позитив». На базе модификаций РЛС «Позитив» построены система обнаружения ЗРК «Кинжал» и командный модуль ЗРАК «Кортик». На заводе налажено серийное производство корабельных РЛС и береговых ракетных комплексов «Рубеж». В начале 90-х «Тайфун» определен изготовителем БРК «Бал», за разработку которого коллективу завода присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники.

В 1990-е создана новая РЛС на базе фазированной антенной решетки. Трехкоординатная РЛС «Позитив-МЭ1» предназначалась для обнаружения и сопровождения воздушных и надводных целей, выдачи данных целеуказания ракетно-артиллерийскому оружию. Экспортные модификации РЛС установлены на кораблях ВМС Алжира, Вьетнама, Китая, Индии, Туркмении и получили высокую оценку специалистов. В начале 2000-х «Тайфун» выполнил модернизацию РТС «Минерал» и компактного антенного полигона – уникального стенда, на котором в заводских условиях можно выполнять настройку СВЧ узлов и антенн различных типов.

В середине 2000-х выполнен крупный проект – новейший береговой комплекс разведки надводной обстановки «Монолит-Б». Создание экспортного варианта комплекса отмечено национальной Премией «Золотая идея», присуждаемой Федеральной службой по военно-техническому сотрудничеству за значительные достижения в сфере экспорта вооружений.

В настоящее время АО «Тайфун» выполняет НИОКРы по заказам МО РФ, а также инициативные работы по созданию перспективных изделий. Выполняется разработка перспективного БРК «Рубеж-МЭ».

В 2015 году АО «Тайфун» присвоено почетное звание «Трудовая слава Калужской области» за вклад в развитие промышленного, экономического, социального потенциала региона.

В 2018 году трудовому коллективу АО «Тайфун» за большой вклад в разработку и создание новой специальной техники объявлена Благодарность Президента РФ В.В. Путина.

В 2020-2021 годах успешно завершены государственные испытания учебных тренажеров для поставки в военные институты и в войска для обучения курсантов и личного состава береговых комплексов.

В команде разработчиков более трехсот инженеров-конструкторов и программистов, среди которых много молодых специалистов. Подготовка инженерных кадров ведется совместно с базовым вузом – Калужским филиалом МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ученые и специалисты АО «Тайфун» активно участвуют в научно-практических конференциях, публикуют свои научные достижения и защищают диссертации в АНО «Институт инженерной физики».

Мы искренне признательны главному редактору журнала «Известия Института инженерной физики» А.Н. Царькову за предоставленную возможность познакомить читателей с новейшими научными разработками ведущих специалистов АО «Тайфун». Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество, направленное на укрепление обороноспособности страны и процветание нашей Родины – великой России!

УДК 372.862

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР БРК «БАЛ–Э»

COMPUTER SIMULATOR CMS "BAL–E"

Михаил Сергеевич Либман
кандидат технических наук
начальник отдела
информационно-управляющих систем
АО «Научно-производственное предприятие
«Калужский приборостроительный завод «Тайфун»

Михаил Анатольевич Анпилогов
начальник научно-технического отделения №1
АО «Научно-производственное предприятие
«Калужский приборостроительный завод
«Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга,
Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (4842) 718-645
E-mail: info@typhoon-jsc.ru

Аннотация:
В статье рассмотрен способ подготовки специалистов к выполнению операций управления сложными техническими системами. Для этой цели предлагается применение тренажеров и учебно-тренировочных комплексов. Компьютерный тренажер «Бал-Э» разработанный АО «Тайфун» предназначен для оснащения соединений береговых войск и военных образовательных организаций. Это позволяет обеспечить обучение специалистов по применению сложных технических систем, поддержание на высоком уровне профессиональных навыков специалистов, обслуживающих и эксплуатирующих данные системы. Применение обучающих средств обеспечивает экономию материальных и финансовых средств и высокое качество обучения.
Ключевые слова: тренажер, обучение, учебно-тренировочный комплекс, сложные системы, специалист.

Summary
The article considers the method of training specialists to perform operations of managing complex technical systems. For this purpose, the use of simulators and training complexes is proposed. The computer simulator «Bal-E» developed by JSC «Typhoon» is designed to equip formations of coastal troops and military educational organizations. This makes it possible to provide training for specialists in the use of complex technical systems, maintaining the professional skills of specialists servicing and operating these systems at a high level. The use of training tools provides savings in material and financial resources and high quality of training.
Keywords: simulator, training, training complex, complex systems, specialist.

Введение

Из развития техники и вооружений известно, что наиболее эффективным способом подготовки специалистов к выполнению операций управления сложными техническими системами является применение тренажеров и учебно-тренировочных комплексов (систем). В АО «Тайфун» был разработан компьютерный тренажер «Бал-Э». Компьютерный тренажер «Бал-Э» предназначен для оснащения соединений береговых войск и военных образовательных организаций. Использование подобных систем позволяет проводить обучение специалистов порядку эксплуатации и применения сложных технических систем и обеспечивают поддержание на высоком уровне навыков специалистов, обслуживающих и эксплуатирующих данные системы. Применение обучающих средств обеспечивает экономию материальных и финансовых средств и высокое качество обучения.

Назначение, решаемые задачи компьютерного тренажера «Бал-Э»

Компьютерный тренажер «Бал-Э» предназначен для подготовки личного состава к применению БРК «Бал-Э», в том числе к использованию по назначению, техническому обслуживанию и ремонту БРК в целом и его составных частей.

Применение компьютерного тренажера «Бал-Э» позволит совершенствовать процесс подготовки личного состава, приобретения навыков применения по предназначению БРК «Бал-Э» и сокращения использования штатного вооружения и техники в процессе подготовки. Внешний вид компьютерного тренажера «Бал-Э» приведен на *рисунке 1*.

Компьютерный тренажер «Бал-Э» обеспечивает подготовку обучающихся по следующим направлениям:

1. Теоретическая подготовка – изучение такти-

ко-технических характеристик, устройства, принципов действия, эксплуатации и технического обслуживания, технических средств БРК «Бал-Э»;

2. Практическая подготовка – выработка умений и навыков боевого использования БРК «Бал-Э» в формате практических занятий в группах.

Компьютерный тренажер «Бал-Э» обеспечивает решение следующих задач:

1. Администрирование процесса подготовки, в том числе:

a. управление и хранение данных по учащимся и учебным группам;

b. авторизация учащихся и руководителя обучения;

c. просмотр и редактирование журналов успеваемости учащихся;

d. контроль работоспособности составных частей компьютерного тренажера «Бал-Э»;

2. Теоретическая подготовка, в том числе:

a. ознакомление с общими принципами работы БРК «Бал-Э» и его составных частей;

b. ознакомление с правилами подготовки к применению, применения и технического обслуживания БРК «Бал-Э» и его составных частей;

3. Практическая подготовка, в том числе:

a. приобретение и совершенствование практических навыков применения по назначению СКПУС из состава БРК «Бал-Э»;

b. приобретение и совершенствование практических навыков применения по назначению СПУ из состава БРК «Бал-Э»;

c. приобретение и совершенствование практических навыков совместной работы экипажей СКПУС и СПУ из состава БРК «Бал-Э».

Эксплуатация и регламентное обслуживание компьютерного тренажера «Бал-Э» осуществляется штатным составом сотрудников из числа гражданского персонала в количестве 2 человек.

Проведение текущего ремонта обеспечивается силами эксплуатирующего персонала с использованием комплекта ЗИП одиночного.

Компьютерный тренажер «Бал-Э» предназначен для эксплуатации в отапливаемых помещениях. Продолжительность непрерывной работы – 8 часов.

Состав компьютерного тренажера «Бал-Э»

Компьютерный тренажер «Бал-Э» состоит из следующих основных составных частей:

1. Пост руководства обучением (1 шт.);
2. Класс СКПУС (2 шт.);
3. Класс СПУ (1 шт.);
4. Комплект эксплуатационной документации;
5. Комплект ЗИП одиночный;
6. Комплект монтажных частей.

Рис. 1. Компьютерный тренажер «Бал-Э»

Рис. 2. Пост руководства обучением

Пост руководства обучением (ПРО) – предназначен для администрирования и управления процессом подготовки личного состава к применению БРК «Бал-Э». Пост руководства обучением включает пульт контроля, имитатор целевой надводной обстановки (ИЦНО), многофункциональное печатающее устройство и экран с проектором. Внешний вид поста руководства обучением приведен на *рисунке 2*.

Класс СКПУС – предназначен для теоретического изучения принципов работы БРК «Бал-Э» и его составных частей, а также подготовки и отработки навыков по применению по назначению СКПУС из состава БРК «Бал-Э».

Класс СКПУС представляют собой совокупность тренажеров, имитирующих рабочие места должностных лиц СКПУС. Внешний вид тренажеров класса СКПУС приведен на *рисунке 3*.

Рис. 3. Тренажеры класса СКПУС

Рис. 4. Класс СПУ

Тренажеры включают в свой состав пульты управления (прибор МБ5.1 и прибор МН5.1) аналогичные пультам управления, устанавливаемым в посту управления СКПУС, что позволяет проводить обучение в условиях, приближенных к условиям эксплуатации боевой техники.

Класс СПУ предназначен для подготовки и отработки навыков по применению по назначению СПУ из состава БРК «Бал-Э». Класс СПУ представляет собой каркас с размещенными в нем рабочими местам и оборудованием.

Каркас класса выполнен из перфорированного профиля и габаритно соответствует посту управления СПУ. Внешний вид класса СПУ приведен на *рисунке 4*.

В состав класса СПУ входят следующие составные части:

1. Корпус класса;
2. АСБУ;
3. Комплект средств связи;
4. Система электроснабжения;
5. Устройство сопряжения.

Внешний вид составных частей класса СПУ приведен на *рисунках 5,6*. Размещение оборудования и само оборудование аналогично оборудованию, размещаемому в посту управления СПУ, что позволят проводить обучение в условиях, приближенных к условиям эксплуатации боевой техники, формируя у учащихся в том числе моторные навыки эксплуатации техники.

Состав и схема взаимодействия тренажера «Рабочее место оператора связи» класса СКПУС и комплекта средств связи класса СПУ приведены на *рисунке 7*. Средства связи компьютерного тренажера «Бал-Э» аналогичны средствам связи, устанавливаемым в БРК «Бал-Э» и обеспечивает обучение учащихся порядку применения,настройки и регулировки средств связи.

Средства связи классов соединены между собой посредством устройства сопряжения, что позволяет проводить обучение учащихся порядку организации открытого и закрытого голосового и информационного обмена по УКВ и проводным линиям связи.

Рис. 5. Пульт командира основной

Порядок использования компьютерного тренажера «Бал-Э» по назначению

При использовании компьютерного тренажера «Бал-Э» рекомендуется следующая типовая последовательность действий:

1. Подготовка к применению;
2. Подготовка учащихся в режиме теоретической подготовки;
3. Подготовка учащихся в режиме практической подготовки.

При подготовке компьютерного тренажера «Бал-Э» к применению необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Провести контроль работоспособности аппаратуры из состава изделия;
2. При необходимости, заполнить или откорректировать личные данные учащихся;
3. При необходимости, сформировать или откорректировать состав учебных групп;

4. При подготовке к работе в режиме практической подготовки:

a. при необходимости загрузить пользовательские цифровые карты местности;

b. при необходимости добавить новую задачу подготовки;

c. при необходимости добавить или корректировать фоно-целевую обстановку;

d. при необходимости задать условия работы радиолокационной станции.

Для проведения теоритической подготовки рекомендуется следующая типовая последовательность действий:

1. Руководителю обучения на ПРО авторизоваться в системе;

2. Руководителю обучения на ПРО запустить режим теоретической подготовки;

3. Учащимся на тренажерах авторизоваться в системе и изучить предложенные темы, в то числе с использованием эксплуатационной документации;

4. Руководителю обучения на ПРО завершить теоретическую подготовку и провести контроль подготовки.

В режиме практической подготовки рекомендуется следующая типовая последовательность действий:

1. Руководителю обучения на ПРО авторизоваться в системе;

2. Руководителю обучения на ПРО поставить перед учащимися задачу для практической подготовки и загрузить исходные данные ИЦНО, обусловленные сценарием занятия;

3. Учащимся отработать на тренажерах задачу, поставленную руководителем обучения;

4. Руководителю обучения вести контроль работы учащихся и запись хода работы учащихся для дальнейшего анализа результатов комплексного обучения;

5. По окончании практической подготовки руководителю обучения оценить результат выполнения поставленных задач и при необходимости, воспроизвести на экране проектора ход работы в выбранные моменты времени для совместного анализа с обучающимися.

а) б)

Рис. 6. Пульт оператора связи (а), щит распределительный (б)

Выводы

Использование компьютерного тренажера «Бал-Э» позволяет проводить обучение специалистов порядку эксплуатации и применения БРК «Бал-Э» и обеспечивает поддержание на высоком уровне навыков специалистов, обслуживающих и эксплуатирующих данный БРК. Применение компьютерного тренажера «Бал-Э» позволит совершенствовать процесс подготовки личного состава, обеспечит приобретение навыков применения по предназначению БРК «Бал-Э» и сокращение использования штатного вооружения и техники в процессе подготовки.

Литература

1. Кашин В.М., Белов В.В., Власов Н.Н., Водиченков Д.А. Принципы построения учебно-тренировочных средств и опыт создания тренажера оперативно-тактического ракетного комплекса // Вестник РГРТУ, 2016. №57. С.94-104.

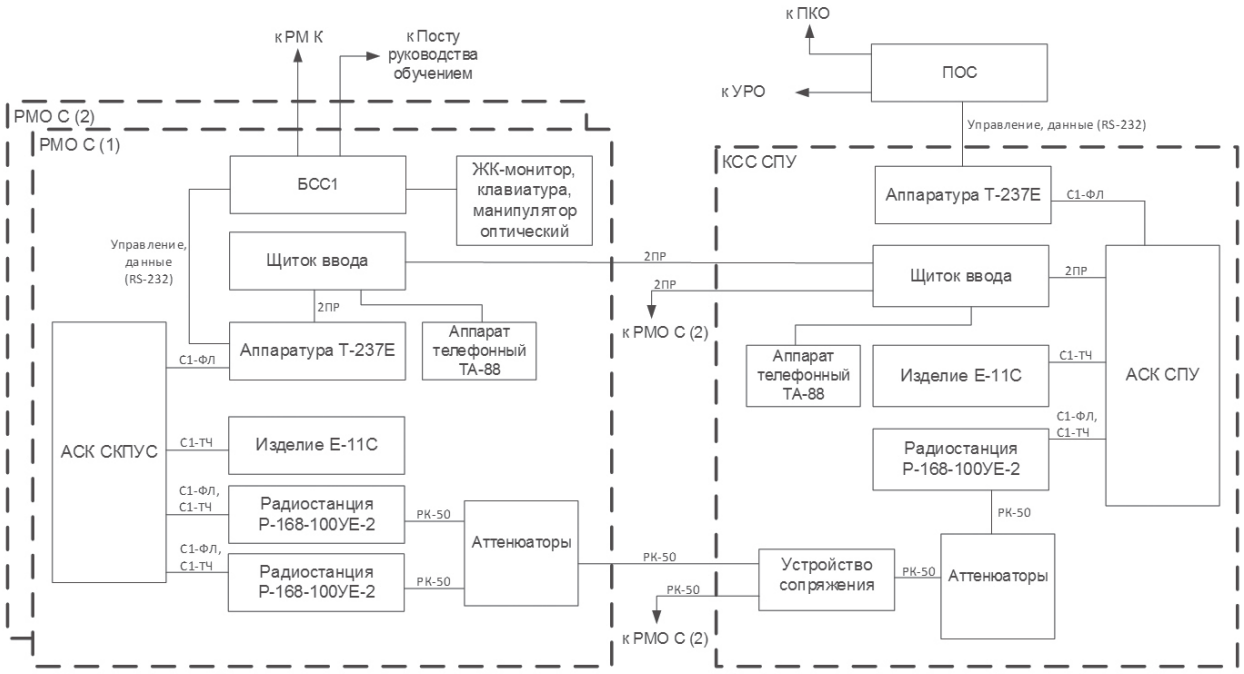


Рис. 7. Схема взаимодействия тренажера «Рабочее место оператора связи» класса СКПУС и комплекта средств связи класса СПУ (АСК – аппаратура связи и коммутации, БСС – блок системный специализированный, ПОС – пульт оператора связи)

УДК 537.811

О МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ОБЪЕКТОМ

ABOUT METHODS FOR CONTROLLING THE GAP BETWEEN THE TRANSDUCER AND THE OBJECT

Олег Александрович Короткий
кандидат технических наук
руководитель аппарата Генерального директора
ответственный Секретарь
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (910) 707-80-50
E-mail: oleg.korotkii@mail.ru

Николай Федорович Врублевский
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 521-31-00

Сергей Александрович Лоскутов
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: +7 (960) 515 66-22

Сергей Александрович Глебов
кандидат физико-математических наук
доцент кафедры
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (4842) 57-48-66
E-mail: fn1kf@mail.ru

Аннотация:
В статье исследуются способы неразрушающего контроля напряженного состояния деталей машин и конструкций на основе остаточных напряжений. Изменения магнитных свойств металла объекта регистрируются с применением магнитоупругих преобразователей. В результате получаем данные о величинах напряжений. Предложено устройство, позволяющее измерять механические напряжения в объектах из ферромагнитных материалов на основе полученных результатов.
Ключевые слова: контроль напряженного состояния, остаточное напряжение, магнитное сопротивление, магнитопровод.

Summary
The article investigates methods of non-destructive stress control of machine parts and structures based on residual stresses. Changes in the magnetic properties of the metal of the object are recorded using magnetoelastic transducers. As a result, we obtain data on the values of stresses. A device is proposed that allows measuring mechanical stresses in objects made of ferromagnetic materials based on the results obtained.
Keywords: stress state control, residual voltage, magnetic resistance, magnetic circuits.

Один из способов неразрушающего контроля напряженного состояния деталей машин и конструкций и, в частности, остаточных напряжений, основан на взаимосвязи между уровнем механических напряжений (деформаций) и магнитными характеристиками ферромагнетика (магнитоупругий эффект) [1-5]. Регистрируя с использованием магнитоупругих преобразователей изменение магнитных свойств металла объекта, можно получить данные о величинах напряжений. При этом для максимального исключения влияния на результат измерения характеристик металла с напряжениями не связанных, градуировку средств измерения следует проводить с использованием образцов того же химического состава и с аналогичной механической предысторией. Однако практика показала, что наиболее значительное влияние на уровень погрешности оказывает переменный зазор между преобразователем и объектом.

Анализ магнитной цепи, образующейся при проведении измерений, привел к выводу: необходимо контролировать величину магнитного сопротивления зазора и устанавливать его одинаковым и равным градуировочному значению $R_{МЗ}$ при градуировке преобразователя и измерениях. В то же время, магнитные сопротивления остальных элементов цепи не должны оказывать влияние на процесс установки и здесь основное внимание следует уделить участку, образованному металлом объекта.

Исключения или допустимого снижения влияния переменных электромагнитных свойств материала объекта на результат установки $R_{МЗ}$

можно добиться, применяя метод вихревых токов (МВТ) [6,7]. С его использованием разработано устройство для измерения механических напряжений в объектах из ферромагнитных металлов, описанное в [8]. В го состав входит П-образный магнитопровод с намагничивающей и измерительной обмотками с ферритовыми чашками на торцах, которые являются токовихревыми преобразователями (ТВП). Обмотки ТВП соединены последовательно и представляют собой индуктивность параллельного колебательного контура автогенератора блока установки $R_{МЗ}$, который благодаря фазовому сдвигу работает на частоте выше резонансной. Такой режим работы позволяет получить необходимую отстройку от влияния переменных электромагнитных свойств металла объекта на установку $R_{МЗ}$.

Возможен другой подход к решению поставленной задачи. Из теории [9] известно, что магнитное сопротивление участка магнитной цепи можно рассчитать с использованием выражения:

$$R_{M=} l/\mu_0\mu S,$$

где l, S – длина и площадь поперечного сечения участка соответственно;

μ_0 – магнитная постоянная;

μ – относительная магнитная проницаемость.

Известно также, что емкость плоского конденсатора равна:

$$C=\varepsilon_0\varepsilon S/d,$$

где d, S – расстояние между пластинами и площадь одной пластины соответственно;

ε_0 – диэлектрическая постоянная;

ε – диэлектрическая проницаемость среды между пластинами.

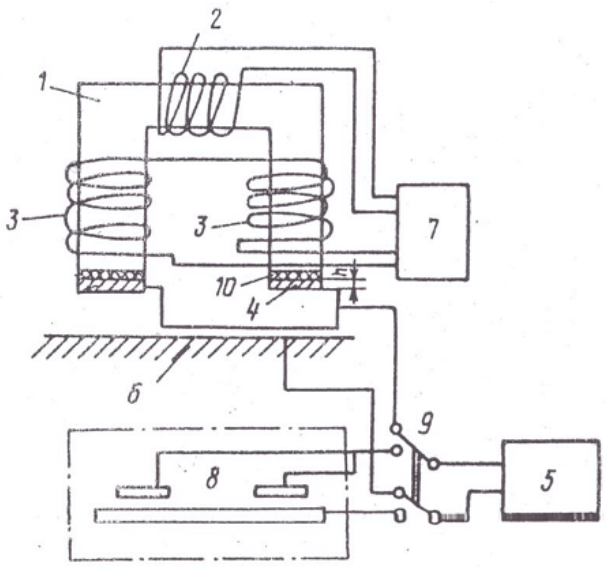


Рис. 1. Структурная схема устройство для измерения механических напряжений в объектах из ферромагнитных металлов

Сравнивая приведенные выражения и принимая в расчет, что для воздушной среды значения μ и ε равны единице, а величины l и d эквивалентны, можно получить следующие зависимости, связывающие эти два параметра зазора:

$$R_{МЗ=}\varepsilon_0/\mu_0\ 1/C \text{ и } C=\varepsilon_0/\mu_0\ 1/R_{МЗ}$$

Следовательно, если на торцах П-образного магнитопровода преобразователя разместить проводящее покрытие, то контролируя емкость конденсатора, образованного покрытием и поверхностью металла объекта можно установить градуировочное значение магнитного сопротивления зазора, полностью исключив влияние электромагнитных свойств металла объекта на процесс его установки.

На основе полученных результатов предложено устройство для измерения механических напряжений в объектах из ферромагнитных металлов [10], структурная схема которого представлена на *рисунке 1*.

В устройство входят: преобразователь, состоящий из П-образного ферритового магнитопровода 1 с возбуждающей 2 и измерительной 3 обмотками и электропроводящим покрытием 4 на торцевых поверхностях полюсов; узел контроля 5 емкости конденсатора, образованного покрытием 4 и металлом объекта 6 и узел измерения напряжений 7; образцовый конденсатор 8 выполнен аналогичным конденсатору, образуемому покрытием 4 и металлом объекта 6. Магнитное сопротивление зазора между обкладками конденсатора 8 равно градуировочному его значению, устанавливаемому между преобразователем и объектом перед проведением измерений. Контроль емкости конденсатора 8 с использованием ключа 9 необходим для учета влияния внешних факторов на установку $R_{МЗ}$. Покрытие 4 крепится к полюсам магнитопровода 1 клеем 10. Толщина покрытия для уменьшения влияния на результат измерения напряжений должна составлять не более 0,1 глубины проникновения вихревых токов в материал покрытия на рабочей частоте измерений. Целесообразно покрытие 4 выполнять ферромагнитным, например, из пермаллоевой фольги, что позволит снизить магнитное сопротивление зазора между торцами магнитопровода 1 и объектом 6.

Порядок работы с устройством следующий: перемещая преобразователь по вертикали относительно поверхности объекта достигается определенное значение емкости конденсатора, образованного покрытием 4 и поверхностью объекта 6, что свидетельствует об установке градуировочного значения магнитного сопротивления зазора $R_{МЗ}$; после чего с использованием узла 7 в соответствии с известными методиками

[1-4] проводится измерение механических, в т.ч. остаточных, напряжений.

Литература

1. Остаточные напряжения в заготовках и деталях крупных машин. Под общ. ред.. О.Н. Михайлова. Свердловск: НИИТяжмаш Уралмашзавода, 1971. 191 с.
2. Николаев А.С. Контроль напряжений в металлических конструкциях магнитоупругими тестерами. Л.: ЛДНТП, 1968. 14 с.
3. Орехов Г.Т., Состин А.Г. Измерение напряжений и деформаций магнитоупругим методом // Вести АН БССР, 1974. №3. С.8-12.
4. Будзинский В.В. Измерение упругих напряжений методом магнитной анизотропии // Измерительная техника, 1970. №10. С.9.
5. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. М.: Машиностроение, 1983. 248 с.
6. Айрапетов Э.Л. и др. Токовихревое устройство для измерения расстояния до металлической поверхности. А.с. СССР №369471, Б.и. № 9, 1973.
7. Герасимов В.Г. и др. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами. М.: Энергия, 1978. 216 с.
8. Врублевский Н.Ф., Короткий О.А. О структуре устройства для измерения остаточных напряжений // Радиопромышленность, 2018. №28. С.18-22.
9. Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1987. 524 с.
10. Врублевский Н.Ф. Устройство для измерения механических напряжений в объектах из ферромагнитных металлов. А.с. СССР № 1657979, Б.и. № 23, 1991.

УДК 621.865

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

MOBILE ROBOT CONTROL SYSTEMS

Олег Александрович Короткий
кандидат технических наук
руководитель аппарата Генерального директора ответственный Секретарь
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (910) 707-80-50
E-mail: oleg.korotkii@mail.ru

Сергей Александрович Лоскутов
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: +7 (960) 515 66-22

Александрович Анатольевич Корнеев
старший преподаватель
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: +7 (910) 590-07-10
E-mail: sas825@yandex.ru

Аннотация:
В статье рассматриваются и предлагаются алгоритмы аппаратно-программного комплекса управления мобильным роботом для решения задач по управлению траекторией и алгоритм взаимодействия микроконтроллера с двигателем при решении задач управления. Приведена разработанная структурная схема интеллектуальной системы управления мобильным роботом.
Ключевые слова: марковские процессы, алгоритм, мобильный робот, задача управления, оптимальная траектория.

Summary
The article discusses and proposes algorithms for the hardware and software control complex of a mobile robot for solving trajectory control problems and an algorithm for the interaction of a microcontroller with an engine when solving control problems. The developed block diagram of the intelligent control system of a mobile robot is presented.
Keywords: Markov processes, algorithm, mobile robot, control task, optimal trajectory.

Система управления мобильным роботом может быть представлена следующими уровнями [1, 2, 3].

Нижний уровень системы управления. За взаимодействие с регуляторами скорости и положения, а также за работу исполнительных устройств отвечает микроконтроллер Arduino Mega 2560, а также драйвер двигателя L298N. Исполнительные устройства данного робота представляют собой пару двигателей постоянного тока 33GB-520-18.7.

Тактический уровень системы управления. За решение задач движения мобильного робота в среде отвечает микроконтроллер Arduino Mega 2560.

Стратегический уровень системы управления. За разложение сложных задач на более мелкие подзадачи отвечает одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 Model B.

Система навигации. За определение местоположения робота и его ориентацию на карте отвечает микроконтроллер Arduino Mega 2560 использующая данные полученные от системы очувствления.

Информационно измерительная система. За снятие данных с датчиков, их обработку отвечает микроконтроллер Arduino Mega 2560.

Система очувствления. Данная система включает в себя лазерный дальномер WAVGAT VL53L0X и датчик оптический щелевой инфракрасный (2 штуки).

На *рисунке 1* представлена структурная схема интеллектуальной системы управления мобильным роботом. Алгоритмы работы составляющих системы управления представлены на блок схеме алгоритма в виде предопределенных процессов.

На нижнем уровне осуществляется выбор электродвигателя. Исполнительным устройством мобильного робота являются двигатели постоянного тока модели 33GB-520-18.7 (*рисунок 2*).

Технические характеристики выбранного двигателя следующие:

- номинальное напряжение 12 В;
- ток холостого хода 100 мА.

Тип мотора:

- электродвигатель постоянного тока, коллекторный;
- энергосбережение IE4;
- вес 100 гр;
- обороты 190-380 об/мин.

Алгоритм взаимодействия микроконтроллера с двигателями.

Алгоритм взаимодействия микроконтроллера с двигателем представлен на *рисунке 3*.

Расчет мощности. Нижеприведенные расчет производится с учетом номинальной нагрузки на установку (предельные значения не учитываются), т.к. данный параметр оказывает прямое влияние на потребление тока двигателями. По приведенным расчетам видно, суммарное потребление тока микросхемами не превышает значения 0,1А. При дальнейших вычислениях значение тока используем с запасом, значение которого составит 0,9А, а итоговое значение будет равняться 1А.

1) $P_{\text{DC motor}}$ =0,2А*2*12В=4,8Вт;
2) $P_{\text{микросхем}}$ =5В*1А=5Вт ч;
3) $C_{\text{батарей}}$=2,2А ч *3,7В*3=24,42 Вт ч;
4) $T_{\text{постоянной работы}}$=24,42/(4,8+5)=2,49ч≈150 мин.

Поскольку на один оборот двигателя приходится 13 отверстий, за полный оборот гусеницы будет 3,15 оборота.

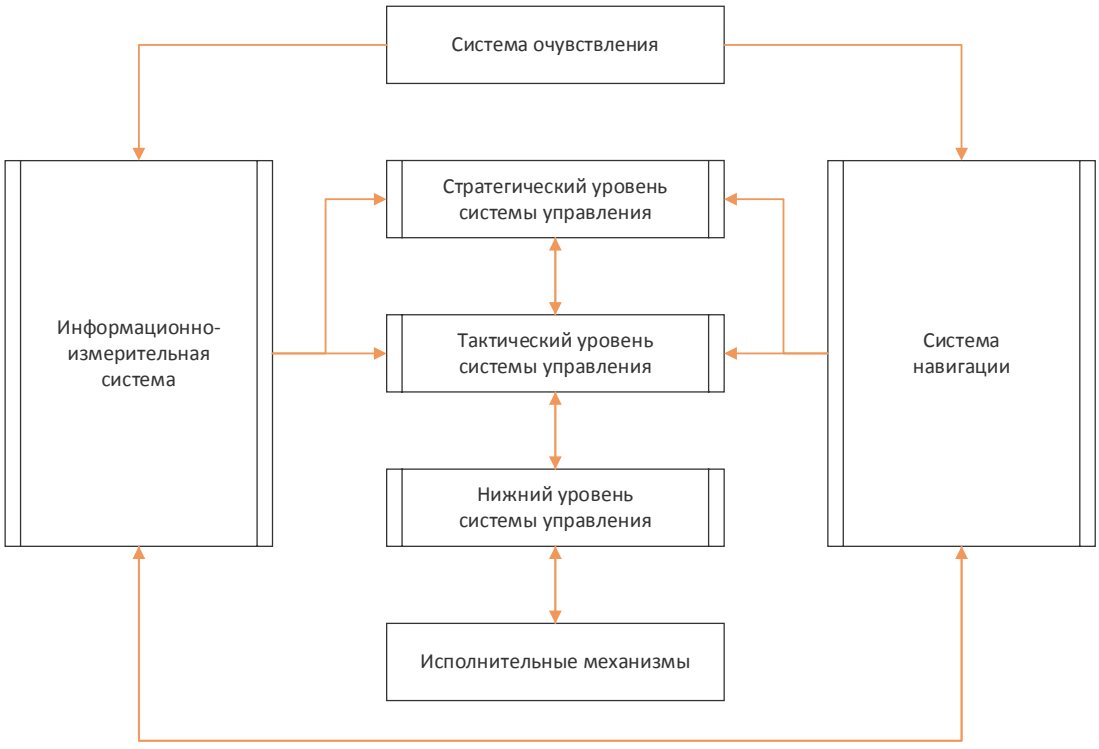


Рис.1. Структурная схема

Рис. 2. Двигатель постоянного тока

Номинальная скорость вращения двигателя: от 190 об/мин до 380 об/мин. Примем номинальную скорость вращения равной 285 об/мин. Зная, что пройденное расстояние связано с оборотами соотношением 1 об=13 см пути, получим:

$L=T*V*l$=150*285*130=5557500 м=5557,5м.

Для проверки работы приводов была разработана схема работы в Simulink с обратной связью по энкодерам. Схема системы управления двигателями постоянного тока и диаграммы представлены на *рисунках 4-7*.

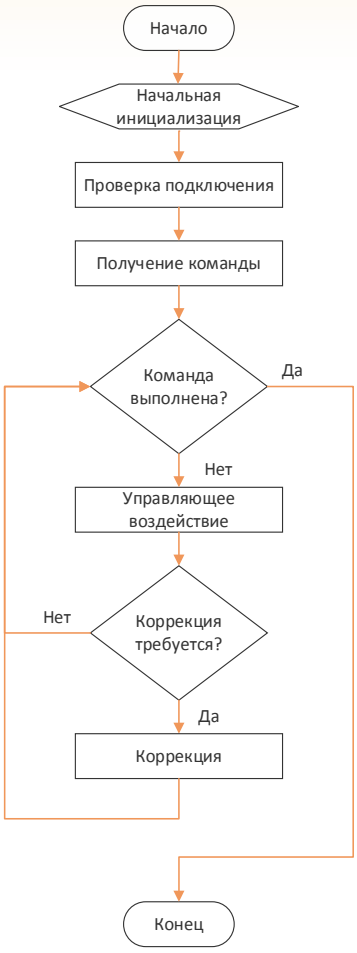


Рис. 3. Алгоритм взаимодействия микроконтроллера с двигателями

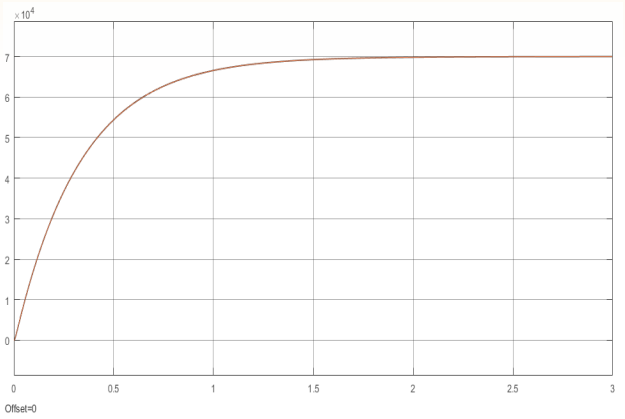


Рис. 5. Пройденное расстояние в миллиметрах

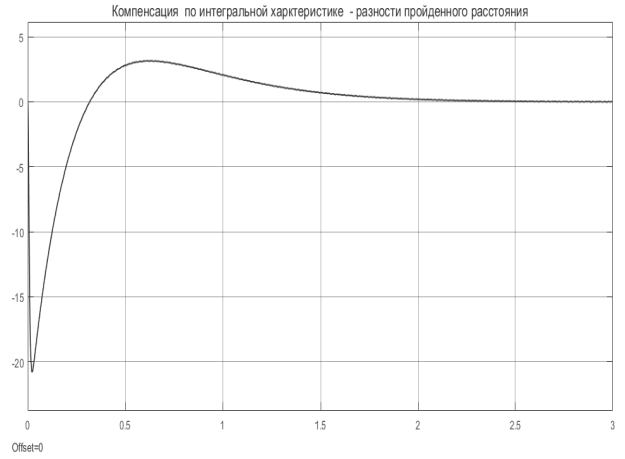


Рис.6. Разница пройденного расстояния в миллиметрах

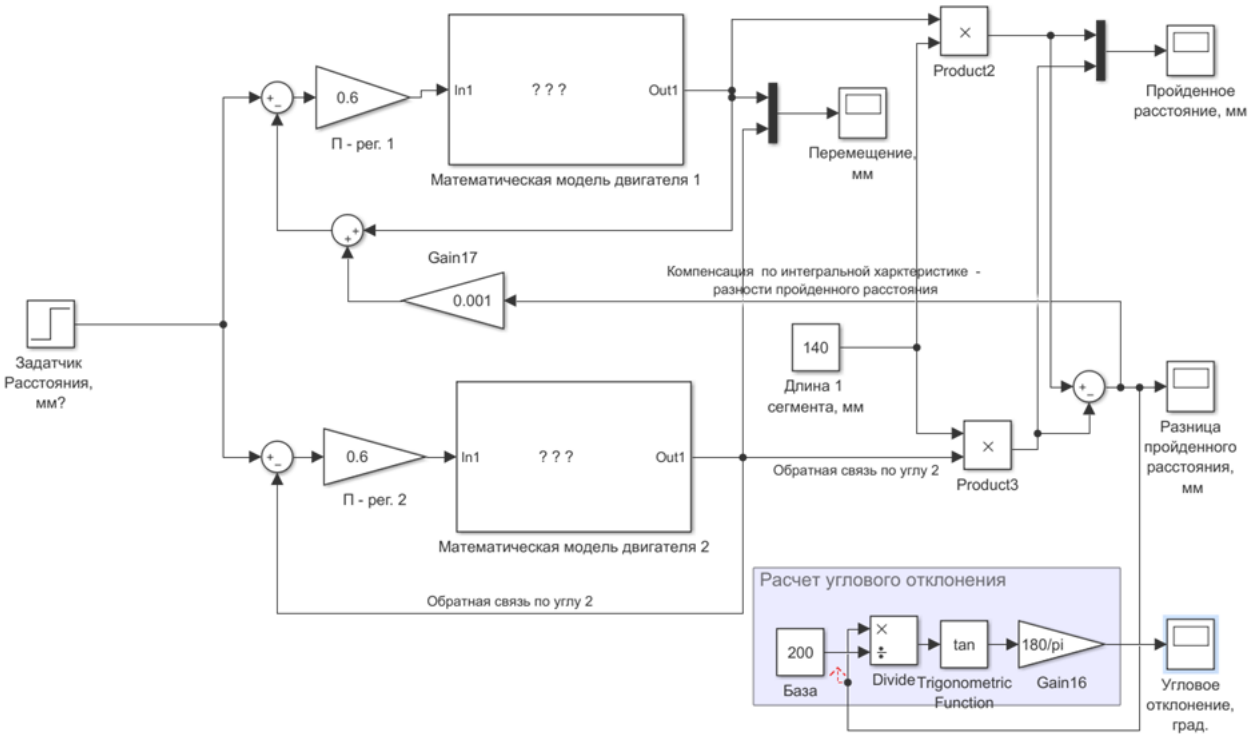


Рис. 4. Система управления двигателями

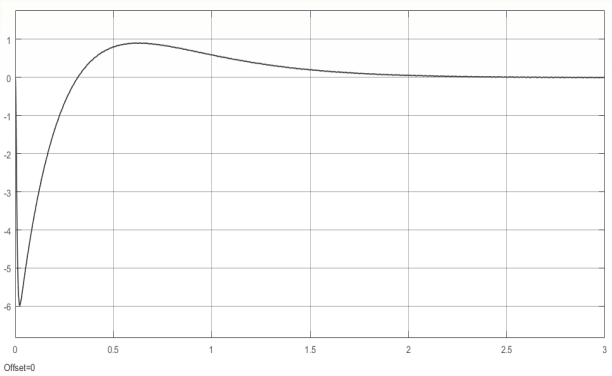


Рис. 7. Угловое отклонение в градусах

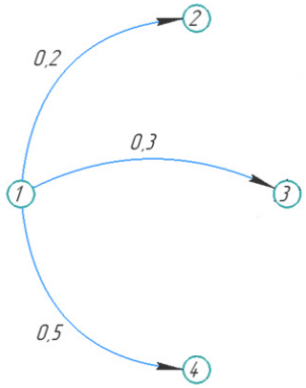


Рис. 8. Пример работы тактического уровня

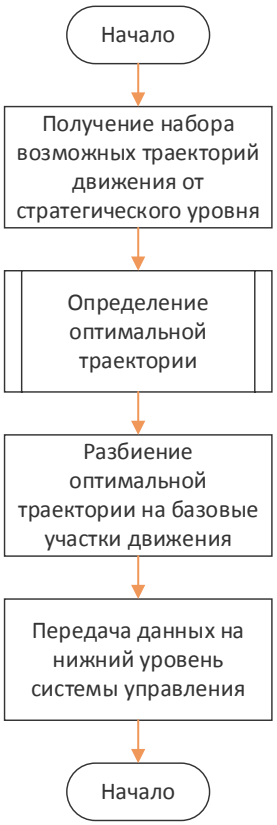


Рис. 9. Алгоритм работы тактического уровня

Тактический уровень системы управления представляет собой интеллектуальные алгоритмы, решающие задачи движения мобильного робота в среде с препятствиями. Тактический уровень по своей сущности – это система управления движением. В данном мобильном роботе тактический уровень системы управления реализован на основе марковских процессов, алгоритм выбора оптимальной траектории основывается на марковской цепи [4,5]. Параметр оптимальности траектории прямо пропорциона-

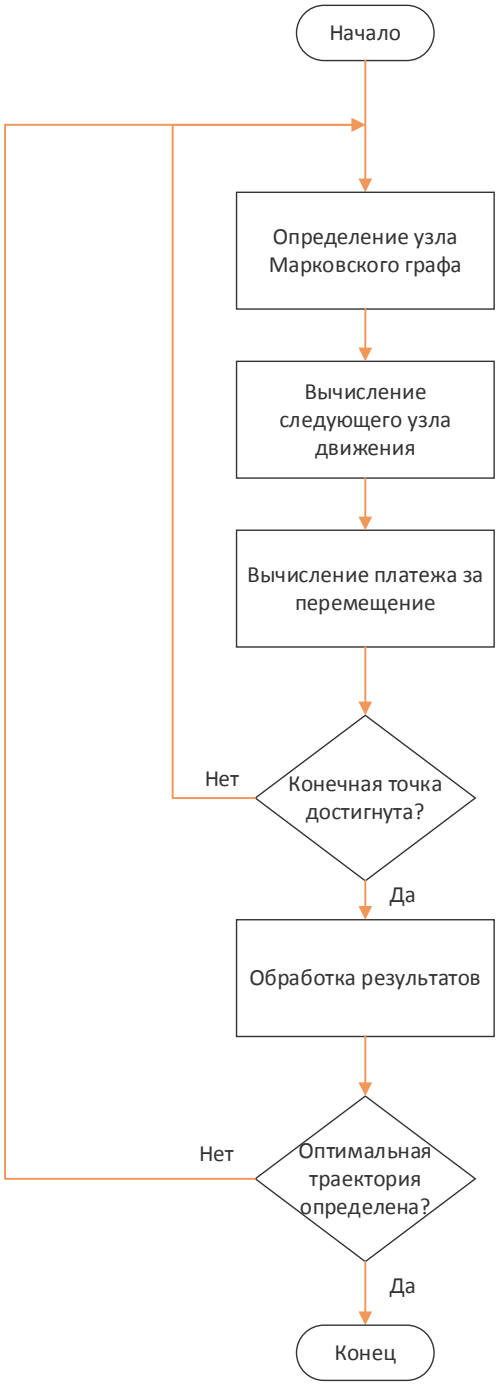


Рис. 10. Алгоритм вычисления оптимального пути

лен сумме платежей на всех участках движения. Подробнее работа этого уровня рассмотрена в предыдущих главах. На *рисунке 8* представлен пример работы тактического уровня.

В данном автономном мобильном роботе с интеллектуальным управлением на основе анализа марковских процессов тактический уровень системы управления работает по алгоритму *(рисунок 9)*.

В системе управления блок «определение оптимальной траектории» работает при помощи алгоритмов работающих на основе теории марковских процессов [6,7] (*рисунок 10*). В качестве вероятности перехода в новое состояние используется вероятность безаварийного прохождения участка относительно других участков, а платежность участка определяется быстротой его прохождения.

Заключение

На основе изложенного можно сделать вывод, что система управления, основанная на марковских процессах, имеет широко проработанные методики программной реализации, не требует длительного обучения, требует меньше аппаратных ресурсов для реализации.

Литература

1. Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решений. М.: Наука, 1977. 176 с.
2. Кемени Д. Дж., Снелл Дж. Л. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. 272 с.
3. Емельянов А.А. Шильникова О.В. Емельянова Н.З. Моделирование процесса поддержи работоспособности развивающейся АСУ // Journal of applied informatics, Прикладная информатика, 2015. Т.10. №5(59). С.93-108.
4. Дынкин Е.Б. Основы теории марковских процессов. М.:Физматгиз, 1959. 227 с.
5. Колмогоров А.Н. Общая теория меры и исчисление вероятностей / Труды Коммунистической академии. Математика, 1929. Т.1. С.8-21.
6. Марков А.А. Исчисление вероятностей. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук, 1900.
7. Твардовский В.В. Секреты биржевой торговли: Торговля акциями на фондовых биржах / В. Твардовский, С. Паршников. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 551 с.

УДК: 53.023; 53.06; 514.8; 681.786; 681.51

ДООПРЕДЕЛЕНИЕ КВАТЕРНИОНА

ADDITIONAL DEFINITION OF THE QUATERNION

Валерий Александрович Коломбет
кандидат физико-математических наук
заведующий лабораторией
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-92-62
E-mail: v.kolombet@rambler.ru

Вадим Николаевич Лесных
младший научный сотрудник
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
E-mail: 1253vadim@mail.ru

Александр Владимирович Елистратов
ведущий инженер
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
E-mail: unenlagia@yandex.ru

Аннотация:
В математике вводится видоизмененное определение кватерниона, приводящее к появлению сразу пары кватернионов. В физике иллюстрируется реальное проявление этого удвоения в спектре масс легких субатомных частиц.
Ключевые слова: кватернионы, субатомные частицы.

Summary
In mathematics, a modified definition of a quaternion is introduced, it leads to the appearance of a pair of quaternions at once. In physics, the real manifestation of this doubling is illustrated in the mass spectrum of light subatomic particles.
Keywords: quaternions, subatomic particles.

Введение

Развитие физики сопровождалось ступенчатым усложнением природы используемых чисел. Сначала применяли натуральные числа, затем их объединяли с такими же натуральными, но уже отрицательными числами; после добавления нуля это привело к множеству целых чисел. Отношения целых чисел являются рациональными числами, их можно записать в виде периодических дробей; продление периода до бесконечности добавляет к рациональным числам иррациональные; в совокупности появляется ось действительных чисел. Со временем существенную роль стали играть комплексные числа $A+iB$, основанные на паре действительных осей и добавленной мнимой единице. Следующим этапом был переход к гамильтоновым кватернионам $A+iB+jC+kD$, содержащим мнимые единицы i, j и k. Эволюция понятия числа выглядит так, что числа более сложного этапа конструируются на основе чисел, определенных на предыдущем этапе усложнения. Однако У.Р. Гамильтон пошел более простым путем [1]. Сначала он безуспешно попытался получить гиперкомплексные числа вида $A+iB+jC$, введя вторую мнимую ось. Затем он применил эту же технику в третий раз и сумел получить кватернионы – числа $A+iB+jC+kD$ с заманчивыми и перспективными свойствами. Однако попытки найти в математике кватернионов особенности, конкурентно выгодные для ее применения в физике, остались недостаточно убедительными [2]. Здесь мы покажем, что в процессе определения кватерниона осталась неисследованная альтернатива, которая приводит к важным физическим следствиям.

Метод

Спустя почти два столетия стало ясно, что, следуя рекуррентному правилу создания поколений более сложных чисел, Гамильтон мог компоновать свои гиперкомплексные числа не из исходного комплексного числа и двух дополнительных одномерных мнимых осей, а только из комплексных плоскостей, т.е. из двумерных объектов. Если сложение трех комплексных чи-

сел $a+ib$, $c+jd$ и $e+kf$ с ортогональными мнимыми единицами i, j и k дает обычный кватернион Гамильтона $(a+c+e)+ib+jd+kf$, то перемножение приводит уже к некоему необычному объекту $S=(a+ib)(c+jd)(e+kf)$, где числа a, b, c, d, e и f – шестерка действительных параметров. Создав S, и пытаясь построить из него кватернион, надо избавиться от двух лишних параметров, сохранив при этом имманентную симметрию мнимых единиц. Оказывается, достаточно убрать пару параметров либо в вещественных частях комплексных чисел: $Q_A=(a+ib)(a+jc)(a+kd)$, либо в мнимых частях: $Q_B=(a+ib)(c+jb)(d+kb)$, т.е. определение S и его упрощение порождает сразу пару разных кватернионов.

Каждый тип числа – натуральное, целое, рациональное и т.д. – имеет свою область применения. Натуральные числа считают «штуки» (монеты, звезды и т.п.), рациональные числа выражают отношения «штук» (отношение частот в музыке, отношение числа зубьев связанных шестеренок в механизмах и т.п.), без комплексных чисел непросто вычислять в электротехнике и невозможно в квантовой механике. Взаимосвязанные кватернионы Q_A и Q_B также должны иметь спектр соответствующих приложений. Одно из этих приложений обнаруживается в физике субатомных частиц и полей.

Выражение

$$E^2=(mc^2)^2+(\boldsymbol{p}c)^2=(mc^2)^2+p_x^2c^2+p_y^2c^2+p_z^2c^2$$

для квадрата энергии в динамике специальной теории относительности можно формально переписать как произведение двух сопряженных кватернионов:

$$(mc^2+ip_xc+jp_yc+kp_zc)\ (mc^2-ip_xc-jp_yc-kp_zc)\equiv E_QE_{Q^*}.$$

Если кватернионы E_Q и E_{Q^*} выпадают на ось действительных чисел, то они должны совпасть с E, но $E_QE_{Q^*}$ выглядят поначалу как

$$(a^3-bcd)(a^3+bcd)\neq E_A^{\ 2} \text{ и } (acd-b^3)(acd+b^3)\neq E_B^{\ 2}.$$

Для возникновения квадрата энергии $E_A^{\ 2}$ из выражений $E_QE_{Q^*}$ должны исчезнуть произведения bcd, а для возникновения квадрата энергии $E_B^{\ 2}$ из $E_QE_{Q^*}$ должны исчезнуть члены b^3. Оказывается, при выпадении кватернионов E_Q и E_{Q^*} на ось действительных чисел автоматически происходит именно это нужное обнуление bcd и b^3. Из случая Q_A получается энергия E_A в форме a^3, а также ноль, который можно пометить как $E_A=0_A$. Из Q_B остается тоже ноль, на этот раз его можно пометить как $E_B=0_B$, а также ненулевая энергия, в общем случае не совпадающая по форме с a^3.

Результаты и обсуждение

Вводя сомножитель E_0 как носитель размерности энергии и, соответственно, переопределяя параметр a как безразмерную величину, множество энергий покоя можно представить в виде составного спектра состояний с энергиями покоя $E_A=E_0a^3$ и $E_B\neq0$, которые можно интерпретировать как энергии покоя массивных объектов, а также нулевые энергии покоя $E_A=0$ и $E_B=0$, которые, как известно, бывают у безмассовых полей. Упоминание в этом контексте безмассовых полей позволяет предположить, что соответствующие массивные объекты могут оказаться субатомными частицами.

На примере субатомных частиц x мы уже проиллюстрировали свою эмпирическую находку [3], что кубические корни из энергий покоя m_xc^2 (здесь: из энергий покоя E_A или E_B), лишенных размерности делением на энергию покоя m_ec^2 электрона e (здесь: на E_0), тяготеют к натуральным числам и к их половинам (к $a=n$ и к $a=n+1/2$, где n – натуральное число или нуль), то есть числа $(m_x/m_e)^{1/3}$, т.е. кубические корни чисел m_x/m_e, в заметной доле случаев приближенно квантованы. Среднее отклонение чисел $(m_x/m_e)^{1/3}$ от ближайших чисел n или $n+1/2$ близко к нулю. Иными словами, для широкого круга легких субатомных частиц эти числа стремятся именно к значениям n и $n+1/2$.

Можно вычислить на основании [4] отклонения $(m_x/m_e)^{1/3}$ от величин, округленных до целых и полуцелых значений. Они могут быть выражены в долях от 0.25, т.е. от половины расстояния между соседними квантованными числами. При этом сначала могут быть вычислены расстояния от экспериментального значения $(m_x/m_e)^{1/3}$ до ближайшего целого или полуцелого числа. Полученное положительное число затем можно поделить на 0.25, т.е. на максимальное значение возможного отклонения $(m_x/m_e)^{1/3}$ от ближайшего целого или полуцелого числа. Сумма этих чисел даст эмпирическую оценку тенденции всего пула чисел $(m_x/m_e)^{1/3}$ анализируемых частиц к числам n и $n+1/2$.

Многократно выбирая наборы такого объема из случайных аналогов масс, т.е. из множества равномерно распределенных на том же экспериментальном интервале случайных величин, и проводя с ними те же процедуры, можно получить оценку вероятности полученного результата. При этом мы удаляли ложный вклад от повторяющихся значений масс частиц и античастиц. В итоге оказывается, что из всех квази-экспериментальных аналогов экспериментального набора масс лишь 2% (т.е. в среднем одна попытка из 50) дает лучшие приближения к множеству соседних значений n и $n+1/2$. Таким образом, в итоге уровень доверия оказывается близким к

98%. При существующем объеме экспериментального материала это вполне обеспечивает доверие к обсуждаемому феномену близости чисел $(m_x/m_e)^{1/3}$ к числам вида n и $n+1/2$.

Случаи фотона, трех нейтрино и электрона можно опустить, т.к. отклонения от соответствующих квантованных значений 0, 0 и 1 при этом либо отсутствуют, либо очень малы, и в результате они сильно улучшают уже полученную хорошую оценку. Случаи протона и нейтрона также должны быть опущены, но по другой причине. Соответствующие значения $(m_x/m_e)^{1/3}$, т.е.

$$12.245304708(39)\approx 12.25 \text{ и}$$
$$12.250928512(39)\approx 12.25$$

расположены посередине между соседними числами 12.00 и 12.50. Ясно, что это уже вовсе не доминирующий вариант a^3, а альтернативный ему вариант из набора объектов с существенной массой.

Полученной оценки уровня доверия вполне достаточно для того, чтобы привлечь внимание к числам $(m_x/m_e)^{1/3}$. Наблюдается отчетливое квантование величин $(m_x/m_e)^{1/3}$, и можно смело предполагать, что оно индуцировано математикой кватернионов, по-видимому, в данном плане естественной для описания мира субатомных частиц. В связи с этом можно упомянуть некоммутативность кватернионов, а также представленную в работе [5] кватернионную интерпретацию спина ½.

В отличие от динамики частной теории относительности, в ее кинематике соответствующая центральная формула имеет вид

$$t^2=I^2+(x/c)^2+(y/c)^2+(z/c)^2.$$

Здесь x, y и z – смещения по координатам за предельно малое время t, а интервал I – это время в собственной (неподвижной, в отсутствие смещений) системе координат. Аналогично случаю динамики, формулу для t^2 можно переписать в виде произведения сопряженных кватернионов

$$t^2=(I+i\cdot x/c+j\cdot y/c+k\cdot z/c)\cdot(I-i\cdot x/c-j\cdot y/c-k\cdot z/c)\equiv t_Q t_{Q^*},$$

и при этом потребовать, чтобы t – величина, которую можно измерить – была реальным числом. Тогда, вполне аналогично представленному выше случаю динамики частной теории относительности возникают решения $t_1=a^3$, $t_1=0$ и $t_2=0$, $t_2\neq a^3$. Времена a^3 отвечают объемам $3D$-объектов, неких массивных кубов. Времена $\neq a^3$ отвечают более сложным объектам, в нашем случае это нуклоны. Оставшиеся нулевые времена можно пытаться ставить в соответствие переносчикам безмассовых полей и почти безмассовым нейтрино (они более, чем в миллион раз легче электрона).

Эти результаты уже доложены на математических конференциях [6,7].

Выводы

Переопределение кватерниона указывает на новые физические явления, в частности, на особенную роль кубических корней обезразмеренных делением на массу электрона масс субатомных частиц. Оказалось, что эти экспериментально обоснованные, то есть физические величины имеют тенденцию быть близкими к натуральным числам и к их половинам. Случаи протона и нейтрона также оказались особенными. Нулевые времена можно пытаться ставить в соответствие переносчикам безмассовых полей и почти безмассовым нейтрино. Эти результаты согласуются с предложенным математическим обоснованием измененного определения кватерниона.

Литература

1. W.R. Hamilton. Lectures on Quaternions (Hodges & Smith, Dublin, (1853).
2. Березин А.В., Березин Ю.В., Курочкин Ю.А., Толкачев Е.А. Кватернионы в релятивистской физике. М.: УРСС, 2003. 202 с.
3. Коломбет В.А. Макроскопические флуктуации, массы субатомных частиц и дискретное пространство-время // Биофизика, 1992. №37. Вып. 3. С.492-499.
4. P.A. Zyla et al (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020).
5. Арнольд В.И. Геометрия комплексных чисел, кватернионов и спинов. М.: Издательство Московского центра непрерывного математического образования. Москва, 2002.
6. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Елистратов А.В. «Расщепление» кватерниона. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Теоретические основы конструирования численных алгоритмов и решение задач математической физики», посвященной памяти К.И. Бабенко (Пущино, 24-26 августа, 2022 г.). М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2022. С.60-61.
7. Коломбет В.А., Milian-Sanchez V., Лесных В.Н. Переопределение кватерниона. Тезисы докладов XVIII Международной конференции «Финслеровы обобщения теории относительности»» FERT-2022. 25-26 ноября 2022 г. С. 81-88.

УДК 52.08

МЕТОД РАСЧЕТА ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ШУМОПОДАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ИНФРАЗВУКОВЫХ СТАНЦИЯХ

A METHOD FOR CALCULATING THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC SPATIAL NOISE-CANCELING DEVICES AT INFRASOUND STATIONS

Игорь Александрович Рыбин
кандидат технических наук, доцент
начальник 1 центра научно-исследовательского (специального контроля)
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России
Адрес: 141300, Московская обл., г. Сергиев Посад-7, ул. Весенняя, 26
Тел.: +7 (965) 270-94-25
E-mail: fgu12tsnii@mil.ru

Мирослав Здравков Горанов
младший научный сотрудник 2 отдела 1 центра научно-исследовательского (специального контроля)
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России
Адрес: 141300, Московская обл., г. Сергиев Посад-7, ул. Весенняя, 26
Тел.: +7 (953) 978-12-30
E-mail: fgu12tsnii@mil.ru

Андрей Викторович Роговой
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник 1 отдела 1 центра научно-исследовательского (специального контроля)
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России
Адрес: 141300, Московская обл., г. Сергиев Посад-7, ул. Весенняя, 26
Тел.: +7 (909) 933-58-11
E-mail: fgu12tsnii@mil.ru

Антон Николаевич Мамонтов
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник 1 центра научно-исследовательского (специального контроля)
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России
Адрес: 141300, Московская обл., г. Сергиев Посад-7, ул. Весенняя, 26
Тел.: +7 (966) 112-66-99
E-mail: fgu12tsnii@mil.ru

Александр Владимирович Селиверстов
курсант
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (916) 104-80-66
E-mail: silvercannonir@yandex.ru

Аннотация:
На основе приближения плоских волн для поля давления от импульсного источника в дальней зоне в работе показано, что частотная характеристика акустического пространственного шумоподавляющего устройства (АПШУ), используемого при инфразвуковом мониторинге атмосферы, в рабочей полосе частот хорошо описывается функцией Бесселя первого рода порядка ноль от аргумента линейно зависящего от произведения частоты колебаний на длину воздуховода. Наиболее эффективно разработанный аппарат может быть использован при восстановлении формы, поступающих на вход АПШУ сигналов высокой частоты, в той области спектра, где инфразвуковые помехи обладают низким уровнем фона и малыми интервалами пространственной корреляции, но сигналы подвергаются значительному искажению.
Ключевые слова: акустическое пространственное шумоподавляющее устройство.

Summary
Based on the approximation of plane waves for the pressure field from a pulsed source in the far zone, it is shown that the frequency response of an acoustic spatial noise-canceling device (ASNCD) used for infrasound monitoring of the atmosphere in the operating frequency band is well described by the Bessel function of the first kind of order zero of the argument linearly dependent on the product of the oscillation frequency by the length of the duct. The most effectively developed device can be used to restore the shape of high-frequency signals coming to the input of the ASNCD, in the spectral region where infrasound interference has a low background level and small spatial correlation intervals, but the signals are significantly distorted.
Keywords: acoustic spatial noise-canceling device.

Пульсации скорости ветра составляют около 10% от средней скорости ветра в спектре микрометеорологического масштаба (свыше 10^{-3} Гц) [1-5]. Случайному полю скоростей турбулентного потока соответствует связанное с ним случайное поле давления. Поэтому всякий приемник давления, помещенный в турбулентный поток, регистрирует колебания давления, образующие случайный помеховый фон. Акустические пространственные шумоподавляющие устройства

(АПШУ), устанавливаемые на вход микробарометров, предназначены для снижения уровня фона при инфразвуковом мониторинге атмосферы. Как правило АПШУ состоит их нескольких воздуховодов длинной R с внутренним радиусом r, одним концом соединенных с усредняющим объемом (УО) V. На *рисунке 1* представлена схема АПШУ. В работах [3-5] показано, что верхняя частота f регистрации атмосферных ядерных взрывов (АЯВ) влияет на параметры АПШУ:

$$4{,}6\cdot 10^{-10}\frac{RV}{r^4}\cdot 2\pi\cdot f<<1, \qquad (1)$$

а сама частота зависит от мощности Q АЯВ и его удаленности L до АПШУ:

$\lg F=K_5+K_6*\lg Q+K_7*\lg L+K_8*\cos[n(m\text{-}1)/6]*\sin\theta$, (2)

где введены следующие обозначения:

m – порядковый номер месяца регистрации,

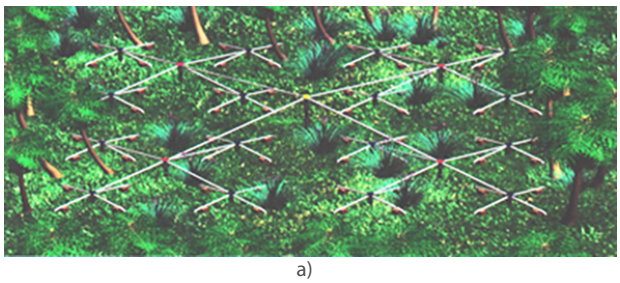
θ – азимут направления от источника на пункт регистрации;

K_5, K_6, K_7, K_8 – коэффициенты (константы), значения которых в данной статье не приводятся.

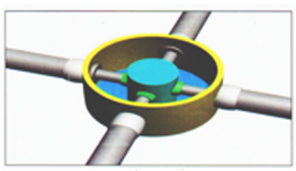
При выполнении условия (1) давление на выходе АПШУ равно среднему арифметическому давлений на его входах. По этой причине объем, с которым соединены воздуховоды, называется усредняющим. Если N входов АПШУ разнесены на расстояние превышающие радиус пространственной корреляции помех, то дисперсия флуктуации давления на выходе АПШУ в N раз меньше, чем на входах системы. При синтезе АПШУ кроме акустического сопротивления (1) необходимо учитывать наличие разности фаз высокочастотных гармоник на своих входах, что приводит к снижению выходной амплитуды $A_{ВЫХ}$ АПШУ относительно амплитуды $A_{ВХ}$ на его входах [3-5]. Для круговой частоты ω запишем:

$$A_{ВЫХ}\cdot\sin(\omega\cdot t+\varphi)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}A_{ВХ}\sin\left(\omega\cdot t-\bar{k}\cdot\bar{r}_i\right), \qquad (3)$$

где $\bar{k}$ – волновой вектор;



а)



б)

в)

Рис. 1. Схема трехуровневого АПШУ: а) вариант размещения, б) усредняющий объем, в) воздуховоды

$\bar{r}_i$ – радиус-вектор i-ого воздухозаборника АПШУ.

Пусть β – угол наземного следа волны с первым воздухозаборником; α – угол волнового вектора с плоскостью АПШУ.

За начало координат примем центр УО:

$\forall i => |\bar{r}_i| = R$.

Так как углы между воздуховодами АПШУ равны, мы преобразуем выражение (3):

$$A_{ВЫХ}\cdot\sin(\omega\cdot t+\varphi)=\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}A_{ВХ}\sin(\omega\cdot t)\cdot\cos\left(|\bar{k}|\cdot R\cdot\cos\left\{\beta+\frac{2\pi\cdot i}{N}\right\}\cdot\cos\alpha\right)- \qquad (4)$$
$$-\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}A_{ВХ}\cos(\omega\cdot t)\cdot\sin\left(|\bar{k}|\cdot R\cdot\cos\left\{\beta+\frac{2\pi\cdot i}{N}\right\}\cdot\cos\alpha\right).$$

Если количество воздуховодов четное, то

$$\sum_{i=0}^{N-1}\sin\left(\bar{k}\cdot\bar{r}_i\right)=0,\ j=0,\ a: \qquad (5)$$
$$K_{осл}=\frac{A_{ВЫХ}}{A_{ВХ}}=\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}\cos(z\cdot\cos\theta_i),$$

где введены следующие обозначения:

$$z\equiv|\bar{k}|\cdot R\cdot\cos\alpha\ u\ \theta_i\equiv\beta+\frac{2\pi\cdot i}{N}.$$

Выражение (5) определяет зависимость $K_{осл}$ от N, β. Покажем, что в рабочей полосе частот АПШУ этой зависимостью можно пренебречь. Для чего и преобразуем выражение (5) к следующему виду [6]:

$$K_{осл}=\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}\left\{J_0(z)+2\sum_{k=1}^{\infty}(-1)^k\cdot J_{2\cdot k}(z)\cdot\cos(2\cdot k\cdot\theta_i)\right\}, \qquad (6)$$

где $J_X(y)$ – функция Бесселя 1 рода порядка X аргумента y.

Такой выбор обусловлен следующим:

при $N\to\infty => K_{осл}\to J_0(z)$.

Преобразуем выражение (6) поменяв порядок суммирования:

$$K_{осл}=J_0(z)+2\sum_{k=1}^{\infty}(-1)^k\cdot J_{2\cdot k}(z)\cdot\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}\cos\left(2\cdot k\cdot\beta+\frac{4\cdot k\cdot\pi\cdot i}{N}\right). \qquad (7)$$

Чтобы упростить выражение (7) воспользуемся соотношением из [7]:

$$\sum_{i=0}^{N-1}\cos(x+i\cdot y)=\cos\left(x+\frac{N-1}{2}\cdot y\right)\cdot\sin\frac{N\cdot y}{2}\Big/\sin\frac{y}{2}. \qquad (8)$$

Если в выражении (7) $2\cdot k$ не кратно N, то в соответствии с формулой (8) коэффициенты при J_{2k} обращаются в ноль и выражении (7) упрощается

$$K_{осл}=J_0(z)+2\sum_{m=1}^{\infty}(-1)^{m\cdot N/2}\cdot J_{m\cdot N}(z)\cdot\cos(m\cdot N\cdot\beta). \qquad (9)$$

Для расчета АПШУ с нечетным количеством входов воспользуемся дополнительно следующей формулой:

$$\sin(z\cdot\cos\theta_i)=2\cdot\sum_{k=0}^{\infty}(-1)^k\cdot J_{2\cdot k+1}(z)\cdot\cos\left[(2k+1)\cdot\theta_i\right]. \qquad (10)$$

После преобразования получим:

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}A_{ВХ}\sin\left(\omega\cdot t-\bar{k}\cdot\bar{r}_i\right)=A_{ВХ}\sin(\omega\cdot t+\varphi)=$$
$$=A_{ВХ}\sin(\omega\cdot t)\cdot\left\{J_0(z)+2\sum_{m=1}^{\infty}(-1)^{m\cdot N}\cdot J_{2m\cdot N}(z)\cdot\cos(2\cdot m\cdot N\cdot\beta)\right\}- \qquad (11)$$
$$-A_{ВХ}\cos(\omega\cdot t)\cdot\left\{2\sum_{m=1}^{\infty}(-1)^{m\cdot N-(N+1)/2}\cdot J_{(2m-1)\cdot N}(z)\cdot\cos[(2\cdot m-1)\cdot N\cdot\beta]\right\}.$$

Учитывая, что при $N>2$ в соответствии с [6] выполняется условие:

$$J_0(z)>>J_{m\cdot N}(z)>>|J_{(m+1)\cdot N}(z)|, \quad (12)$$

упростим выражения (9) и (11):

$$A_{ВЫХ} \approx A_{ВХ}\cdot\left\{J_0(z)+(-1)^{N/2}\cdot 2\cdot J_N(z)\cdot\cos(N\cdot\beta)\right\}; \quad (13)$$

$$A_{ВЫХ} \approx A_{ВХ}\cdot J_0(z)\sqrt{1+\left\{\frac{2\cdot J_N(z)\cdot\cos(N\cdot\beta)}{J_0(z)}\right\}^2}; \quad (14)$$

$$\varphi \approx (-1)^{(N+1)/2}\cdot arctg\frac{2\cdot J_N(z)\cdot\cos(N\cdot\beta)}{J_0(z)}, \quad (15)$$

где выражения (14) и (15) применяются при нечетном количестве входов.

Если АПШУ является элементом малобазовой акустической группы (МАГ), то удобнее выразить величину z через скорость следа $V_{СЛ}$ инфразвукового сигнала на МАГ:

$$z = 2\cdot\P\cdot f\cdot R/V_{СЛ}, \quad (16)$$

где введено обозначение:

$V_{СЛ}$ – скорость «следа» инфразвукового сигнала на МАГ, вычисляем по разности времен прихода сигнала на каналы МАГ.

В международной системе мониторинга (МСМ) Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) и в Службе специального контроля Минобороны России инфразвуковые станции (ИС) представляют собой МАГ, оснащенные двухуровневым АПШУ, где $N = 4$ при $R = 6$м. Его диаграмма направленности представлена на *рисунке 2*.

При условии $z \le 2$ амплитудно-частотная характеристика этих АПШУ хорошо описывается выражением:

$$K_{ОСЛ} \approx J_0(\omega\cdot 6/V_{СЛ})\cdot J_0(\omega\cdot 3/V_{СЛ}). \quad (17)$$

В общем виде частотные характеристики (ЧХ) АПШУ описываются формулами (9), (11), где можно ограничиться условием:

$$m \le [2\cdot z/N]. \quad (18)$$

Получены простые аналитические зависимости, позволяющие проводить синтез АПШУ с заданными частотными характеристиками, и впервые для нечетного числа входов. Наиболее эффективно разработанный аппарат может быть использован при восстановлении формы, поступающих на вход АПШУ сигналов высокой частоты, в той области спектра где инфразвуковые помехи обладают низким уровнем фона и малыми интервалами пространственной корреляции, но сигналы подвергаются значительному искажению [4-5,8-10].

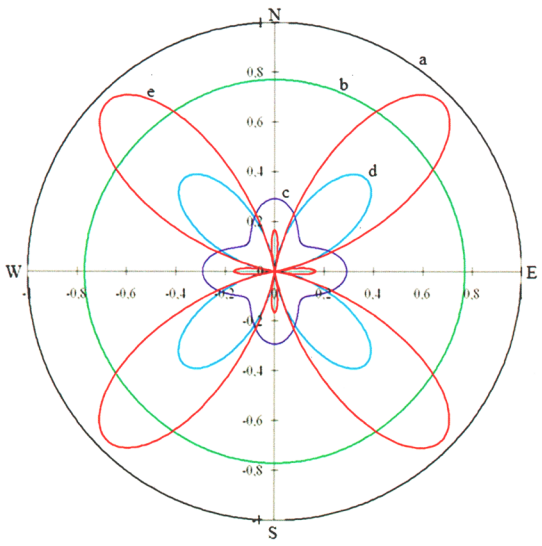


Рис. 2. Диаграмма направленности АПШУ при N=4: *a)* z=0; *b)* z=1; *c)* z=2; *d)* z=3; *e)* z=4

Литература

1. Адушкин В.В., Харламов В.А., Рыбнов Ю.С. Характеристики инфразвукового фона на станциях Дубна и Залесово. Сборник «Физические процессы в геосферах: их проявления и взаимодействие». М.: ИДГ РАН, 1999. С.166-175.
2. Кудрявцев В.И., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А. Анализ возможностей шумоподавления при микробарометрических измерениях в приземном слое атмосферы/ Сборник трудов ИДГ РАН. Книга 2, 2003. С.397-405.
3. Методы обнаружения ядерных взрывов на больших расстояниях. Ч.2. М.: Военное издательство МО СССР, 1961.
4. Глухов А.Г. и др. Метод расчета частотных характеристик акустических пространственных шумоподавляющих устройств на инфразвуковых станциях международной системы мониторинга. В/ч 51105, 2013.
5. Физика ядерного взрыва. Т.5. Контроль ядерных испытаний. 12 ЦНИИ МО. М.: Наука, Физматлит, 2017. 787 с.
6. Справочник по специальным функциям. Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. М.: Наука, 1979.
7. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963.
8. Пономарёв Е.А., Уралов А.М., Руденко Г.В. Исследование удаленных источников инфразвука естественного происхождения. Отчет. Шифр «Трасса». РАН СО. Институт солнечно-земной физики. Иркутск. 1993.
9. Куличков С.Н. Дальнее распространение инфразвуковых волн в атмосфере. Дисс. на соиск. уч. степ. доктора физ.-мат. наук. М.: Институт физики атмосферы РАН, 1999.
10. Дёмин В.Н., Кунаков В.Г., Смирнов А.А. Новая инфразвуковая станция международной системы мониторинга в Казахстане IS 31 «Актюбинск» // Вестник НЯЦ РК «Геофизика и проблемы нераспространения», 2002. Вып.2.

УДК 621.396.96

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ

METHOD FOR ASSESSING RADAR OBSERVABILITY

Павел Викторович Николаев
кандидат технических наук
начальник КБ
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (980) 714-77-80
E-mail: pnv11987@mail.ru

Анатолий Валерьевич Аксёнов
инженер-конструктор
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (906) 641-38-55
E-mail: an.aksionov2014@yandex.ru

Аннотация:
В работе рассматриваются вопросы, посвященные оценке условий загоризонтного распространения электромагнитных волн и определению текущего и/или прогнозируемого уровня радиолокационной наблюдаемости. Данные об уровне РЛН в свою очередь необходимы для оценки реальных технических характеристик РТС в текущих (прогнозируемых) внешних условиях. В работе дается обзор и проводится сравнительный анализ известных методов оценки РЛН.
Ключевые слова: радиолокационная наблюдаемость, условия загоризонтного распространения, рефракция, тропосфера, навигационные космические аппараты, радиотехнические средства.

Summary
The paper deals with issues related to the assessment of the conditions for the over-the-horizon propagation of electromagnetic waves and the determination of the current and/or predicted lever of radar observability. Data on the lever of radar observability, in turn, are necessary to assess the real radio equipment technical characteristics in the current (forecasted) external conditions. The paper provides an overview and a comparative analysis of known methods for assessing radar observability.
Keywords: radar observability, conditions for the over-the-horizon propagation, refraction, troposphere, navigation satellite, radio equipment.

Введение

Актуальной задачей применения радиолокационного и радиотехнического вооружения кораблей и береговых комплексов является оценка эффективности радиотехнических средств (РТС) в текущих и прогнозируемых условиях. Данная оценка заключается в определении реальных технических характеристик РТС в текущих (прогнозируемых) условиях. Для корректного решения данной задачи необходимо проведение оценки условий загоризонтного распространения (УЗР) и определение текущего и/или прогнозируемого уровня радиолокационной наблюдаемости (РЛН) [1]. Под РЛН принято понимать величину отношения фактической дальности действия в конкретных условиях к формулярной дальности действия РТС, обычно выражаемую в баллах. В общем случае из ряда внешних факторов, влияющих на РЛН, определяющим является тропосферная рефракция [1-5]. Для учета рефракции можно использовать один из следующих параметров среды распространения (тропосферы): эквивалентный радиус земли, градиент показателя преломления, отношение радиуса кривизны луча к радиусу земли. Перечисленные параметры однозначно связанны друг с другом и видом рефракции [3-5] (*таблица 1*), поэтому они могут использоваться для оценки уровня РЛН [5].

Обзор методов оценки РЛН

Существующие методы оценки РЛН по типу используемых исходных данных измерений можно разделить на пять основных групп.

Модельно-метеорологические методы

Данные методы основаны на приземных (надводных) измерениях параметров атмосферы (влажности, температуры и давления) [6]. Далее

расчетным методом с помощью известных моделей атмосферы (например – линейной, экспоненциальной, биэкспоненциальной, Хопфилда) оценивается уровень РЛН.

Градиентные метеорологические методы

Данные метода основанные либо на прямых измерениях высотных профилей параметров атмосферы с помощью метеорологических ракет, шаров и других воздушных носителей [7,8]. Далее на основе результатов измерений оценивается уровень РЛН.

Методы радиофизического и радиоакустического зондирования

Методы данной группы в качестве исходных данных для оценки РЛН используют результаты измерений дистанционной зависимости амплитуды отражений от морской поверхности (радиофизическое зондирование [7,9,10]), либо результаты радиоакустического зондирования [11].

Методы функции ослабления, измеренной с помощью эталонного источника излучения

Методы данной группы в качестве исходных данных для оценки РЛН используют результаты измерений амплитуды сигнала эталонного источника, положение которого известно на всей траектории его движения. Существуют методы, которые производят оценку РЛН при движении эталонного источника как в интерференционной зоне [7,12-14], так и в зоне дифракции [7]. Далее на основе полученных данных расчетным методом восстанавливается градиент показателя преломления, а значит и уровень РЛН.

Практическая реализация всех вышеперечисленных методов требует ряда организационно-технических мероприятий и позволяет провести диагностику лишь в одной географической точке либо на одной трассе распространения волн в направлении эталонного источника сигнала. Проведение целого ряда специальных организационно-технических мероприятий для реализации перечисленных методов приводит к материальным и временным затратам, что не позволяет обеспечить оперативность при проведении диагностики УЗР. Это значительно снижает эффективность данных методов при организации тактических действий сил ВМФ. Основные недостатки рассмотренных методов устранены в *методах эталонного источника на базе навигационных космических аппаратов (НКА).*

Методы эталонного источника на базе НКА

Методы данной группы в качестве исходных данных для оценки РЛН используют амплитуду, фазу и доплеровскую частоту сигналов от НКА [7,12-24], положение которых известно на всей траектории их движения из данных эфемерид. Далее на основе полученных данных расчетным методом восстанавливается градиент показателя преломления, а значит и уровень РЛН. Относительно большое количество НКА в составе группировок глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) позволяет производить оценку РЛН с высокой частотой и в различных азимутальных направлениях (пеленгах).

Методы эталонного источника на базе НКА

По используемым исходным данным для оценки РЛН методы эталонного источника на базе НКА можно разделить на три основные группы.

Методы функции ослабления

Методы функции ослабления в качестве исходных данных для оценки РЛН используют информацию об амплитуде сигнала от НКА, получаемую в процессе его радиозахода (радиовосхода). К данным методам можно отнести:

1. *Интерференционный метод* [7,12,13,17]: аналогичен ранее рассмотренному интерференционному методу.

2. *Метод угла радиозахода* [7,12-17].

Данный метод является частным случаем интерференционного метода: в отличии от оригинального метода, при котором оцениваются все доступные максимумы и минимумы интерференционных лепестков, в данном методе анализируется только нижний минимум нижнего интерференционного лепестка (угол радиозахода). Угломестное направление на нижний минимум нижнего интерференционного лепестка можно оценить, как с помощью математического аппа-

Таблица 1

Характеристики баллов РЛН

Балл РЛН	Тип рефракции	Характеристика РЛН	Отношение фактической дальности к формулярной	Эффективный радиус Земли, тыс. км	Градиент показателя преломления, N-ед./км
1	Пониженная	Пониженная	<0,9	5,6	21,6
2	Стандартная	Нормальная	0,9–1,1	8,5	-39,3
3	Повышенная	Повышенная	1,1–2,0	15,0	-90,3
4	Сверхрефракция	Сверхдальняя	>2,0	36,0	-129,2

рата интерференционного метода [7,13], так и с помощью известных выражений для угла рефракции [14].

Методы псевдодальности

Методы данной группы используют в качестве исходных данных для оценки РЛН фазу сигнала или псевдодальность, получаемые в процессе радиозахода (радиовосхода) НКА. К данным методам можно отнести:

1. Фазовый метод [18]

Данный метод позволяет не только оценить градиент показателя преломления и уровень РЛН, но и восстановить высотный профиль показателя преломления. Для этого в процессе радиозохода (радиовосхода) НКА регистрируется измеренная псевдодальность от антенны приемника до НКА (электрическая длина пути радиоволн – ЭДПР) для всех угломестных положений спутника в диапазоне от 0° до 5°. Далее решается интегральное уравнение относительно высотного профиля рефракции.

2. Метод функции отображения [19, 20-23]

Данный метод, как и фазовый метод, позволяет восстанавливать высотный профиль показателя преломления. Для этого в процессе радиозохода (радиовосхода) НКА регистрируется измеренная псевдодальность от антенны приемника до НКА (ЭДПР) и точное значение дальности до НКА (из навигационного решения и эфемерид) для всех угломестных положений спутника в диапазоне от 0° до 5°. Далее решается интегральное уравнение относительно высотного профиля рефракции.

Методы псевдоскорости

Методы данной группы используют в качестве исходных данных для оценки РЛН псевдоскорость, получаемую в процессе радиозахода (радиовосхода) НКА. К данной группе относится метод доплеровского сдвига частоты [24]. Данный метод, как и методы псевдодальности, предполагает решение интегрального уравнения относительно высотного профиля показателя уравнения, в левой части которого находится изменение доплеровской частоты сигнала, принятого от НКА, обусловленное тропосферой.

Результаты сравнительного анализа методов эталонного источника на базе НКА сведены в *таблицу 2*.

Заключение

1. В работе были рассмотрены основные подходы к решению задачи оценки РЛН, информация о которой необходима для определения реальных технических характеристик и эффективного применения РТС в текущих (прогнозируемых) условиях.

2. Практическая реализация большинства методов требует ряда организационно-технических мероприятий и позволяет проводить диагностику лишь в одной географической точке либо на одной трассе распространения волн в направлении эталонного источника сигнала, не обеспечивая при этом оперативности при оценке РЛН. Методы эталонного источника на базе НКА позволяют исключить указанные недостатки, обеспечивая оперативную оценку РЛН в различных азимутальных направлениях (пеленгах).

3. Сравнительный анализ методов эталонного источника на базе НКА показал, что с увеличением вычислительной сложности, как правило, увеличивается и точность оценки РЛН. При этом методы псевдодальности и псевдоскорости позволяют дополнительно оценить высотный профиль показателя преломления в результате решения интегральных уравнений.

Литература

1. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии (радиометеорология). Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 350 с.

2. Бин Б.Р., Даттон Е.Дж. Радиометеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 364 с.

3. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общ. ред. В.С. Вер-

Таблица 2

Характеристики методов эталонного источника на базе НКА

№	Наименование метода	Степень проработки метода	Потенци-альная точность	Вычислительная сложность
1	Интерференционный метод	Средняя	Средняя	Средняя
2	Метод угла радиозахода	Высокая	Средняя	Низкая
3	Фазовый метод	Средняя	Средняя	Высокая
4	Метод функции отображения	Высокая	Высокая	Высокая[1]
5	Метод доплеровского сдвига частоты	Низкая	Высокая	Высокая

[1] Средняя при оценке уровня РЛН без восстановления профиля показателя преломления.

бы. В 2-х кн. Кн.2. М.: Техносфера, 2014. 680 с.
4. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Связь, 1965. 400 с.
5. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. М.: Советское радио, 1962. 480 с.
6. Давыденко Ю.И. Дальняя тропосферная связь. М.: Военное издательство, 1968. 212 с.
7. Михайлов Н.Ф., Рыжков А.В., Щукин Г.Г. Радиометеорологические исследования над морем. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 208 с.
8. Павлов Н.В. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 432 с.
9. Славутский Л.А. Радиозондирование поверхности океана и приводного слоя атмосферы в сантиметровом диапазоне: автореф. дис. … докт. физ.-мат. наук: 11.00.08. Владивосток, 1998. 21 с.
10. Пат. RU2743332C1 Российская Федерация, МПК F42B 15/08. Реактивный снаряд для измерения уровня радионаблюдаемости / Анпилогов М.А., Петраков А.А., Самбуров Н.В. Заявитель и патентообладатель АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун». № 2020131490; заявл. 24.09.2020; опубл. 17.02.2021, Бюл. № 5.
11. Пат. RU2196345C2 Российская Федерация, МПК G01S 13/95. Способ радиоакустического зондирования атмосферы / Ульянов Ю.Н., Бутакова С.В., Скворцов В.С., Ветров В.И. Заявитель и патентообладатель АООТ «Латан». №2000112085/09; заявл. 17.05.2000; опубл. 10.01.2003, Бюл. № 1.
12. Штагер Е.А. Отражение радиоволн от кораблей и других морских объектов. СПб.: ВВМ, 2004. 418 с.
13. Меттус Л.С., Михайлов В.Н., Хачатурян А.Б. Интерференционный множитель Земли // Изв. вузов России. Радиоэлектроника, 2018. №1. С.43-49.
14. Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи. М.: Связь, 1969. 156 с.
15. Замараев В.Б., Синицкий В.Б. Определение характеристик тропосферной рефракции в зоне тени по излучению удаленного источника. Ч.1. Модель // Радиофизика и электроника, 2014. Т.5(19). №3. С.41-48.
16. Кабанов В.А., Моргун Г.М., Синицкий В.Б., Тургенев И.С. Определение характеристик тропосферной рефракции в зоне тени по излучению удаленного источника. Ч.2. Эксперимент // Радиофизика и электроника, 2014. Т.5(19). №4. С.56-62.
17. Пат. RU2750133C1 Российская Федерация, МПК G01S 13/88. Способ измерения уровня радионаблюдаемости и устройство для его реализации / Аксёнов А.В., Анпилогов М.А., Недодиров С.В., Николаев П.В., Одзиляев Д.С., Петраков А.А., Самбуров Н.В. Заявитель и патентообладатель АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун». № 2020127523; заявл. 18.08.2020; опубл. 22.06.2021, Бюл. № 18.
18. Азизов А.А., Гайкович К.П., Кашкаров С.С., Черняева М.Б. Использование сигналов навигационных ИСЗ для определения параметров атмосферы // Изв. вузов. Радиофизика, 1998. Т.XLI. №9. С.1093-1110.
19. Попов Д.О. Дистанционное зондирование окружающей среды с использованием излучений глобальных навигационных спутниковых систем: дисс. … канд. физ.-мат. наук: 01.04.03 / Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова. Харьков, 2017. 222 с.
20. Васильев А.А. Вертикальная структура индекса рефракции дециметровых радиоволн и ее временные вариации: дисс. канд. … физ.-мат. наук: 01.04.03 / Казанский (Приволжский) федеральный университет. Казань, 2011. 103 с.
21. J.A. Klobuchar, J.M. Kunches. Comparative range delay and variability of the earth's troposphere and the ionosphere. GPS solutions, 7(1):55-58, 2003.
22. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2-х т. Т.1. Монография / К.М. Антонович. ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. 334 с.
23. Детков А.Н., Жеребцов С.И., Кобузев А.Н., Макаров И.А. Наведение радиолуча на цель с учетом рефракции в атмосфере земли // «Журнал радиоэлектроники», 2013. №10.
24. Арманд Н.А., Андрианов В.А., Смирнов В.М. Восстановление профиля коэффициента преломления тропосферы по измерениям частоты сигналов искусственного спутника земли // Радиотехника и электроника, 1987. Т.32. №4. С.673-680.

УДК 658.562.6

ДЕФЕКТОСКОПИЯ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ УКРЫТИЙ. ОБНАРУЖЕНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ

DEFECTOSCOPY OF RADIO–TRANSPARENT SHELTERS. DETECTION AND VISUALIZATION OF DEFECTS

Валерий Васильевич Бодрышев
кандидат технических наук
доцент
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
E-mail: soplom@mail.ru

Артём Андреевич Ларин
начальник измерительного комплекса
АО «Научно-производственное предприятие
«Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга,
Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (4842) 718-645
E-mail: larintema@ya.com

Аннотация:
Для защиты антенных устройств радиолокационных станций (РЛС) от воздействий внешней среды используются различные радиопрозрачные укрытия. Главным электротехническим требованием к данным изделиям является требование внесения минимальных искажений ЭМВ (электромагнитной волны) при сохранении прочностных и защитных свойств. На этапах изготовления и обслуживания таких изделий, важно иметь возможность выявлять и локализовывать участки, не отвечающие требованиям к величине потерь энергии, оценивать их размеры и границы. Предложены новый метод дефектоскопии обтекателей, включающий в себя метод измерения потерь в обтекателе в слабобезэховых условиях, и методы оценки размеров и форм участков, не отвечающих требованиям по величине потерь.
Ключевые слова: радиолокационная станция, обтекатель, электромагнитная волна, величина потерь, коэффициент прохождения, рецепторная модель.

Summary
To protect the antennas of radar stations from the external environment, various radomes are used. The main electrical requirements for these products is the requirement of introducing minimal distortion of electromagnetic waves (EMW) while maintaining strength and protective properties. It is important to identify and localize areas that do not meet the requirements for the magnitude of energy losses, to evaluate their sizes and boundaries. A new method for radome defectoscopy is proposed, it includes a way for measuring losses under weak anechoic conditions, and for estimating the sizes and shapes of sections that do not meet the requirements for the magnitude of losses.
Keywords: electromagnetic wave, magnitude of losses, radar station, radome, receptor model, transmission coefficient.

Введение

Для защиты антенных устройств радиолокационных станций (РЛС) от воздействий внешней среды используются различные радиопрозрачные укрытия [1]. Главным электротехническим требованием к данным изделиям является требование внесения минимальных искажений ЭМВ (электромагнитной волны) при сохранении прочностных и защитных свойств.

При выборе технологического решения в процессе изготовления обтекателей на стадиях выходного контроля встает задача обнаружения и локализации дефектов (дефектоскопии) с анализом их размера, формы и т.п.

Известны методы неразрушающей дефектоскопии материалов (акустические, магнитные, вихревые, тепловые и др.) [2] способные выявить только структурный дефект материала, без оценки радиопрозрачности. Поэтому, для принятия решения о пригодности изделия необходимо производить дефектоскопию, основанную на измерении радиотехнических (электрических) параметров.

Известен способ измерения радиотехнических параметров (в т.ч. величины потерь) обтекателей радиолокационных станций (РЛС) [3-5], основанный на методе замещения. Измерительная антенна находится в поле плоской электро-

магнитной волны (ЭМВ) и ориентирована в направлении получения максимального сигнала на выходе. Измерения производятся на рабочей частоте f_0 в два этапа. На первом этапе измеряется уровень сигнала падающей ЭМВ с выхода измерительной антенны (далее – антенна) без обтекателя E_0, затем (на втором этапе) – измеряется уровень сигнала E_1 с выхода антенны с установленным обтекателем. По соотношению измененных сигналов производится расчет величины потерь ЭМВ в обтекателе:

$$\pi = \frac{E_1}{E_0} \quad (1)$$

Недостатками известного способа является то, что переотражения ЭМВ от обтекателя (или радиопрозрачного укрытия) вносят погрешность в измерения величины E, а значит, и в расчетный уровень $П$.

Известен способ [6], отличающийся от [3] тем, что, для снижения погрешности измерения величины E, производится подавление переотражений от обтекателя.

Среди недостатков способов можно выделить следующие:

- необходимость организации системы подвеса и перемещения обтекателя, позволяющей изменять расстояние антенна-обтекатель без изменения пространственной ориентации обтекателя.
- наличие ряда ограничений, связанных с геометрическим размером антенны и обтекателя, не позволяющих проводить перемещения данным способом.

Общим недостатком описанных выше способов является их помехонезащищенность, и, как следствие, невозможность применения вне безэховой камеры.

Для решения данных указанных был предложен метод измерения величины потерь в слабобезэховых условиях с применением временной селекции.

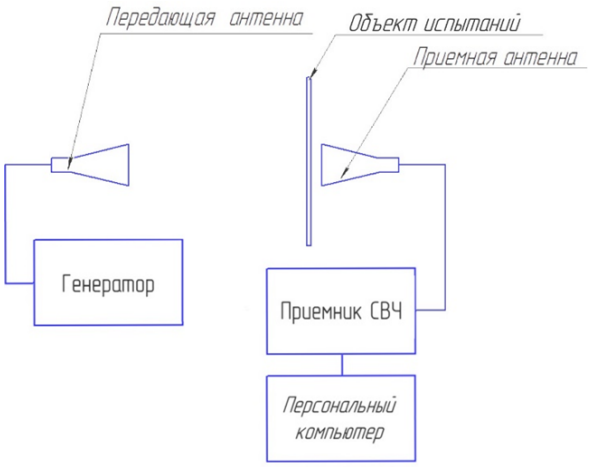


Рис. 1. Схема рабочего места

Метод измерения величины потерь в слабобезэховых условиях

Для проведения испытаний необходимо следующее оборудование: передающая и принимающая измерительная антенна, кабельные сборки известной длины, векторный анализатор цепей с функцией временной области. Рабочее место схематично изображено на *рисунке 1*.

В общем виде расположение измерительных антенн на полигоне произвольной формы можно представить следующим образом (*рисунок 2*).

На *рисунке 2* обозначены:

ИА – измерительные антенны;

a, b – стены полигона;

a_1, b_2 – расстояние от передающей антенн до стен a и b соответственно;

a_2, b_1 – расстояние от принимающей антенн до стен a и b соответственно;

l_n – путь прямого сигнала (расстояние между передающей и принимающей антеннами);

x_1 – угол падения (отражения) переотражения сигнала первого рода от стены a;

x_2 – угол падения (отражения) переотражения сигнала первого рода от стены b;

$l_1 = l_1' + l_1''$ я– путь переотражения сигнала первого рода от стены a;

$l_2 = l_2' + l_2''$ – путь переотражения сигнала первого рода от стены b.

Для осуществления временной селекции необходимо выбрать размер временного окна. Для этого рассмотрим пути переотражений первого рода l_1 и l_2. Отражения второго рода учитываться не будут, так как путь сигнала в них потенциально больше, чем в отражениях первого рода. Экспериментально получено, что для проведения измерений оптимально выбирать временное окно Δl таким образом, чтобы оно удовлетворяло следующим условиям:

$$\Delta l = l_П - \min(l_1, l_2). \quad (2)$$

Для настройки организации рабочего места и настройки измерительного оборудования:

1. Измерительные антенны устанавливаются как указано на *рисунке 2*. Поворотом антенн по

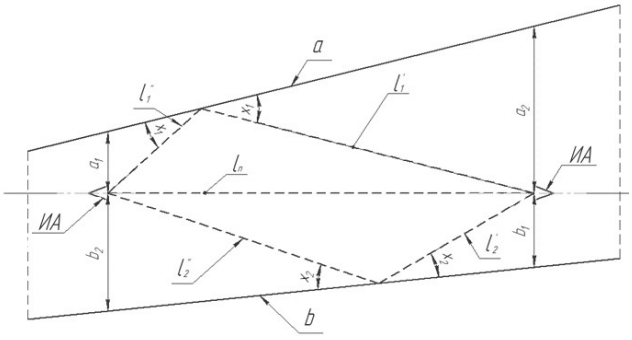


Рис. 2. Расположение измерительных антенн на полигоне. Вид сверху

азимуту и угла места находится максимальный сигнал.

2. Находится значение x_1 и x_2 из выражений:

$$a_1\cos\left(x_1+\arccos\frac{l_{II}}{\sqrt{(a_2-a_1)^2+l_{II}^2}}\right)+a_2\cos\left(x_1-\arccos\frac{l_{II}}{\sqrt{(a_2-a_1)^2+l_{II}^2}}\right)-a\sin x_1=0; \quad (3)$$

$$b_1\cos\left(x_2+\arccos\frac{l_{II}}{\sqrt{(b_2-b_1)^2+l_{II}^2}}\right)+b_2\cos\left(x_2-\arccos\frac{l_{II}}{\sqrt{(b_2-b_1)^2+l_{II}^2}}\right)-a\sin x_2=0; \quad (4)$$

3. Значения l_1 и l_2 из выражений:

$$l_1=\frac{l_{II}(a_2+a_1)}{\sin x_1\sqrt{(a_2-a_1)^2+l_{II}^2}}; \quad (5)$$

$$l_2=\frac{l_{II}(b_2+b_1)}{\sin x_1\sqrt{(b_2-b_1)^2+l_{II}^2}}. \quad (6)$$

4. Вычисляется значение Δl по формуле (2).

5. На дискретных частотах $f_n=f_0+n\cdot\Delta f$, где $n=0,1,...,(N-1)$ измеряется сигнал $E(f_n)$;

6. В каждой точке $n=0,1,...,(N-1)$ выполняется операция:

$$E(f_n)=E(f_n)\cdot K(n),$$

где

$K(n)=0,40217-0,49703\cos\frac{2\pi}{N}+0,09392\cos\frac{4\pi}{N}-0,00183\cos\frac{6\pi}{N}$ – весовое окно Блэкмана-Хэрриса.

7. Производится преобразование Фурье:

$$E(t_m)=\sum_{N=0}^{N=1}E(f_n)\exp\left(-\frac{i2\pi nm}{N}\right),$$

$$t_m=\frac{m}{N\Delta f},m=0,1,...,(N-1).$$

8. В каждой точке $m=0,1,...,(N-1)$ выполняется операция:

$$E(t_m)=E(t_m)D(t_m),$$

где

$$D(t_m)=\exp\left[i\pi(t_m-t_0)\Delta f\right]\frac{\sin\left[\pi(N/k)(t_m-t_0)\Delta f\right]}{\sin\left[\pi(t_m-t_0)\Delta f\right]};$$

t_0 – время прихода полезного сигнала;

k – ширина весового окна, находится по $k=\frac{\Delta l}{c}$, где c – скорость света в воздухе.

9. Выполняется обратное преобразование Фурье:

$$E(f_n)=\frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1}E(t_m)\exp\left(\frac{i2\pi nm)}{N}\right)$$

В итоге получаем значения восстановленного сигнала E на N дискретных частотах:

$$f_n=f_0+n\cdot\Delta f,n=0,1,...,(N-1).$$

Шаг по частоте и количество частот выбираются исходя из вышеприведенных соотношений с учетом требуемой ширины временной области и шага по времени.

Как было сказано ранее процесс измерения объекта испытания (ОИ) производятся в два этапа: измерение уровня восстановленного сигнала без ОИ (E_0) и на выходе антенны с ОИ (E_1). С учетом их осуществляется расчет $П_i$ в заданной i-й точке обтекателя.

Для сравнения на *рисунке 3* приведены три графика величины потерь для одного и того же образца радиопрозрачного материала (фторопласт-4, толщина 20 мм). Синим цветом изображен теоретический график величины потерь рассчитанный на основе справочных величин (относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенсом угла диэлектрических потерь $tg(a)$. Желтым цветом – график величины потерь, измеренных «Способом измерения потерь в обтекателе» [6]. Красным – график величины потерь, измеренных предложенным выше методом.

На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что применение предложенной методики позволяет повысить стабильность измерения величины потерь по сравнению с ранее известным способом.

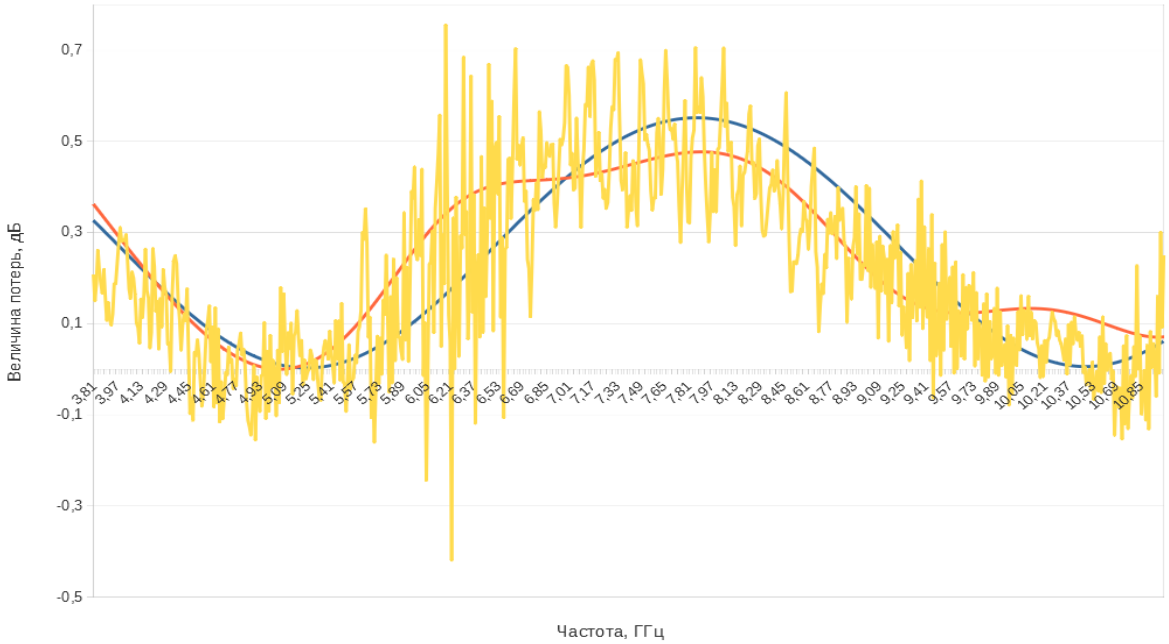


Рис. 3. Графики величины потерь для фторопласта-4 шириной 20 мм

Визуализация результатов измерения посредствам построения цифрового изображения

Описанный выше метод позволяет измерять величины потерь энергии в обтекателе в широкой полосе частот и может быть использован при дефектоскопии. Под дефектоскопией обтекателя понимается не только поиск неоднородностей (швов, уплотнений, трещин, расслоений, скоплений влаги) на его поверхности, но и оценка их потенциального влияния на величину потерь с целью последующего принятия решения о возможности дальнейшего применения исследуемого обтекателя в конечном изделии или доработки дефектов.

Значение уровня восстановленного сигнала на выходе антенны с установленным обтекателем E_{Ixiyi} замеряется для каждой геометрической точки с координатой $[x_i,y_i,z_j]$ $(i=1,2,...,m;\ j=1,2,...,k)$ с шагом ΔL и Δz (*рисунки 4-6*). Выбор оптимального шага расположения геометрических точек на поверхности обтекателя ΔLи Δz напрямую зависит от ожидаемого размера обнаруживаемых неоднородностей.

Данный обтекатель состоит из совокупности цилиндрической части и сферы.

Для цилиндрической координаты любой точки поверхности определяется системой уравнений *(рисунок 5)*

$$\begin{cases} x = \rho\cos\varphi \\ y = \rho\sin\varphi \\ z = z \end{cases} \quad (7)$$

Здесь ρ и φ соответственно внешний радиус цилиндрической оболочки и угол поворота между соседними точками в заданном сечении.

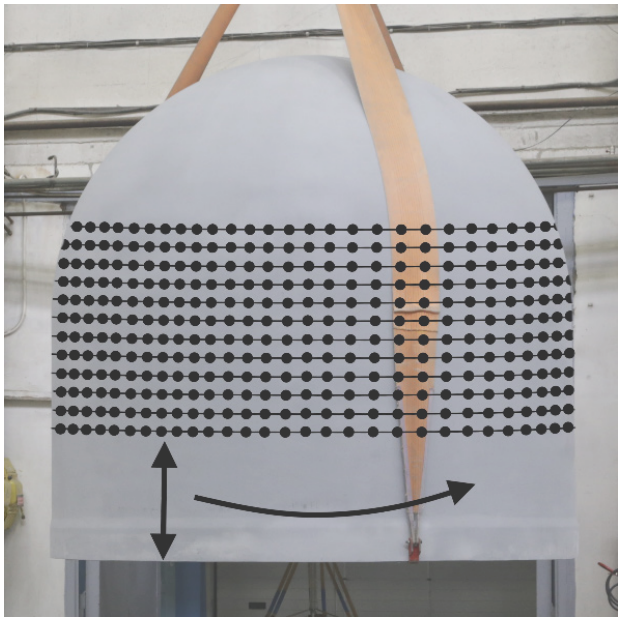


Рис. 4. Пример формы исследуемого обтекателя, с схематически нанесенными точками замера E_{xiyi}

Значение ΔL задает шаг замера E_{Ixiyi} и определяется зависимостью

$$\Delta L = \frac{2\pi\rho}{\varphi}.$$

Шаг сетки частот выбирается исходя из ожидаемого размера обнаруживаемого дефекта. На практике было получено, что минимальный размер обнаруживаемого дефекта равен 1/10…1/4 (в зависимости от его структуры и характера) площади апертуры измерительной антенны. В случае если контролируемая стенка обтекателя имеет сферическую или цилиндрическую форму, необходимо учитывать возможную ошибку, вызванную этой неплоскостностью [7].

По замерам, полученным на двух этапах, осуществляется расчет величины потерь в каждой геометрической точки.

Таким образом в результате обработки данных имеется массив $[x,y,z,П]$, где содержаться величины потерь энергии $П_i$ для каждой геометрической точки $[x_i,y_i,z_j]$.

Для удобства анализа полученных результатов с целью локализации наихудших и наилучших зон с точки зрения радиопрозрачности, полученный массив данных представляется в виде цифрового изображения.

На *рисунке 7* представлена сетка контрольных

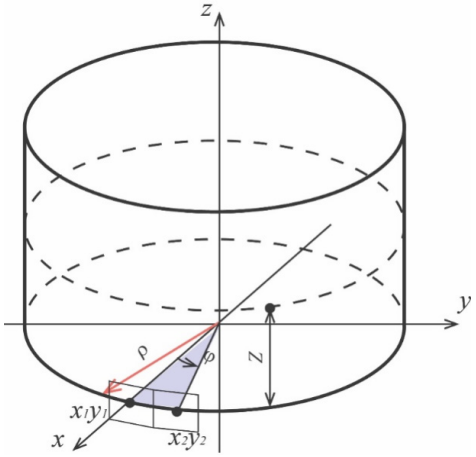


Рис. 5. Схема определения точек на цилиндрической части

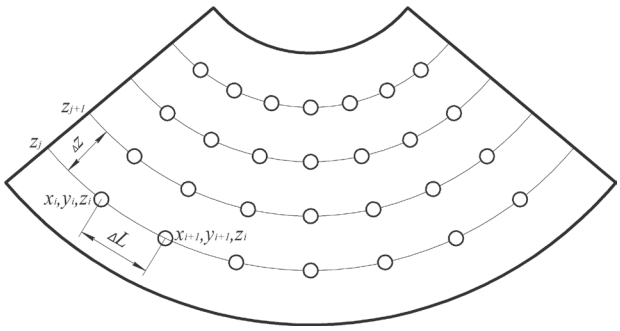
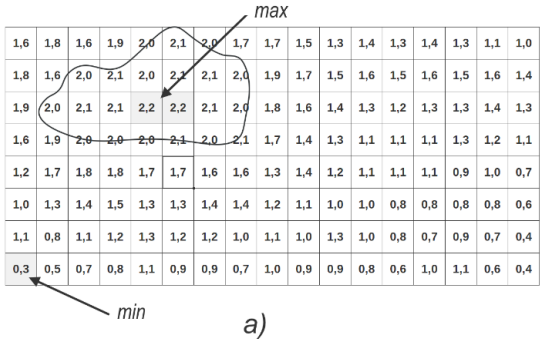
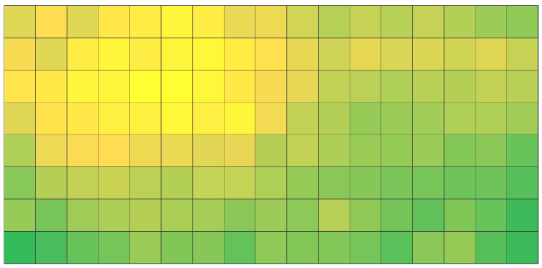


Рис. 6. Схема расположения точек на развертке сферы

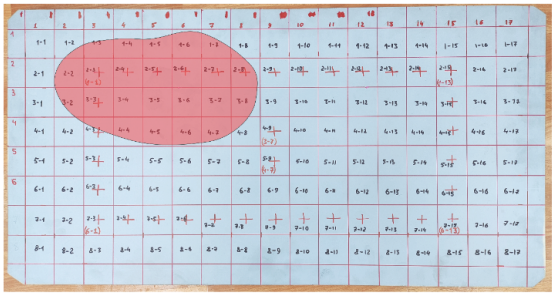
точек, в каждой из которых указанно измеренное значение величины потерь в зоне просветления обтекателя (рабочая частот ЭМВ). Для данного типа обтекателя, расчетное значение величины потерь составляет 2.0 дБ. Точки, в которых обнаружено превышения данного значения, фиксируются как дефектные. На рисунке показаны точки с минимальным и максимальным значением величины потерь для данного образца (*рисунок 7а*). На *рисунке 7б* представлено цветовое изображение полученных результатов. На *рисунке 7в* представлена зона дефектности на реальной конструкции (на образец нанесена сетка контрольных точек с соответствующей маркировкой их координат). Габариты контролируемой зоны образца составляют 850х400 мм, шаг сетки точек 50 мм. Толщина образца 25 мм. Образец является элементом радиопрозрачной



а)



б)



в)

Рис. 7. Варианты изображения обнаруженного дефекта (а – численное отображение измеренных значений величины потерь (дБ) в контрольных точках, б – цифровое изображение, полученное путем цветовой обработки результатов измерения, в – зона дефектности на реальной конструкции)

стенки обтекателя. Обшивки выполнены из стеклоткани пропитанной эпоксидной смолой, внутренний слой – пенопласт.

На основе полученных результатов можно однозначно локализовать зоны с дефектами на поверхности обтекателя для их дальнейшей доработки.

Выводы

1. С целью осуществления поиска дефектов в рабочей зоне радиопрозрачных укрытий был предложен метод дефектоскопии основанный на измерении величины потерь энергии.

2. С целью повышения стабильности измерений величины потерь энергии в радиопрозрачных укрытиях, был предложен метод измерения величины потерь энергии в слабобезэховых условиях основанный на временной селекции. С целью апробация метода, были проведены измерения величины потерь энергии в листе фторопласта-4 толщиной 20 мм при падении ЭМВ по нормали. Полученные результаты были сравнены с расчётными теоретическими значениями для данного материала и результатами полученными ранее известным методом. Проведенные измерения показали, что применение полученного метода позволяет повысить стабильность измерений в слабобезэховых условиях.

3. Была проведена дефектоскопия образца обтекателя. Благодаря проведенной визуализации результатов измерения, было обнаружено пятно дефекта в конструкции образца. Проведенное вскрытие обнаруженного участка показало наличие расслоения в данной зоне.

Литература

1. Гуртовник И.Г. Соколов В.И., Трофимов Н.Н. и др. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. М.: Мир, 2002. 368 с.
2. Ермолов И. Н., Останин Ю.А. Методы и средства неразрушающего контроля: Учебное пособие для инженерно-технических специальностей. М.: Высшая школа, 1988. 368 с.
3. Пригода Б.А., Кокунько В.С. Обтекатели антенн летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1970. 265 с.
4. Басков К.М., Федоренко А.М., Федоров С.А. Методика расчета радиотехнических характеристик системы антенна- обтекатель // Журнал радиоэлектроники, 2016. №2.
5. Кисель Н. Моделирование системы антенна обтекатель в пакете программ FEKO // Современная электроника, 2011. №9.
6. Способ измерения потерь в обтекателе регулярного типа // Патент России №2656254. 2017 / Ларин А.А., Рыбаков Д.Ю., Самбуров Н.В.
7. Бодрышев В.В., Ларин А.А. Анализ влияния формы крупногабаритных обтекателей на точность измерений величины потерь энергии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2022. №2. С.348-353.

УДК 621.396.67

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ ШТЫРЕВАЯ АНТЕННА ДИАПАЗОНА УКВ

ULTRA-WIDEBAND VHF WHIP ANTENNA

Роман Олегович Бут
инженер-конструктор
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (4842) 71-86-04
E-mail: madara_40_rus@mail.ru

Николай Викторович Самбуров
начальник лаборатории
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (4842) 71-86-04
E-mail: samburov.n.v@yandex.ru

Аннотация:
Разработана сверхширокополосная штыревая антенна для работы на высоком уровне мощности в диапазоне частот 30-400 МГц. Для согласования антенны были применены сосредоточенные нагрузки. Приведены результаты моделирования и макетирования. Сравнение параметров серийных приемопередающих антенн, близких диапазонов частот с параметрами разработанной антенны демонстрирует, что уровень разработки соответствует современным устройствам.
Ключевые слова: штыревая антенна, сосредоточенная нагрузка, сверхширокая полоса.

Summary
An ultra-wideband whip antenna has been developed for operation at a high power level in the frequency range of 30-400 MHz. Lumped loads were used to match the antenna. The results of modeling and prototyping are given. Comparison of the parameters of serial transceiver antennas, close frequency ranges with the parameters of the developed antenna demonstrates that the level of development corresponds to modern devices.
Keywords: whip antenna, concentrated load, ultra-wide band.

Введение

В настоящее время, в связи со сложившимися тенденциями комплексирования и многофункционального использования современных средств и комплексов связи, возникает необходимость в применении сверхширокополосных ненаправленных антенн, способных работать на высоком уровне мощности.

Широкое применение в диапазоне УКВ получили дискоконусные и биконические антенны [1]. К достоинствам данного типа антенн можно отнести относительную простоту конструкции, возможность запитки стандартным коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом без использования каких-либо согласующих устройств (СУ), а возможность подведения большой мощности фактически ограничивается конструкцией питающего кабеля. Общим недостатком такого типа антенн являются значительные массогабаритные характеристики, что ограничивает область их применения.

Другим типом широкополосных антенн, являются штыревые антенны с сосредоточенными нагрузками [2]. Как правило, используют активные или реактивные нагрузки. Применение активных нагрузок обычно приводит к уменьшению КПД антенны, а применение реактивных – к увеличению ее габаритных размеров. Рабочая полоса частот таких антенн, как правило, не превышает 90%. Антенны данного типа отличаются сложностью конструкции, имеют существенные ограничения по подводимой мощности, связанные с конструкцией сосредоточенных элементов и СУ. К достоинствам данного типа антенн можно отнести существенно меньшие массогабаритные характеристики, в следствии чего они могут устанавливаться, например, на мобильные объекты.

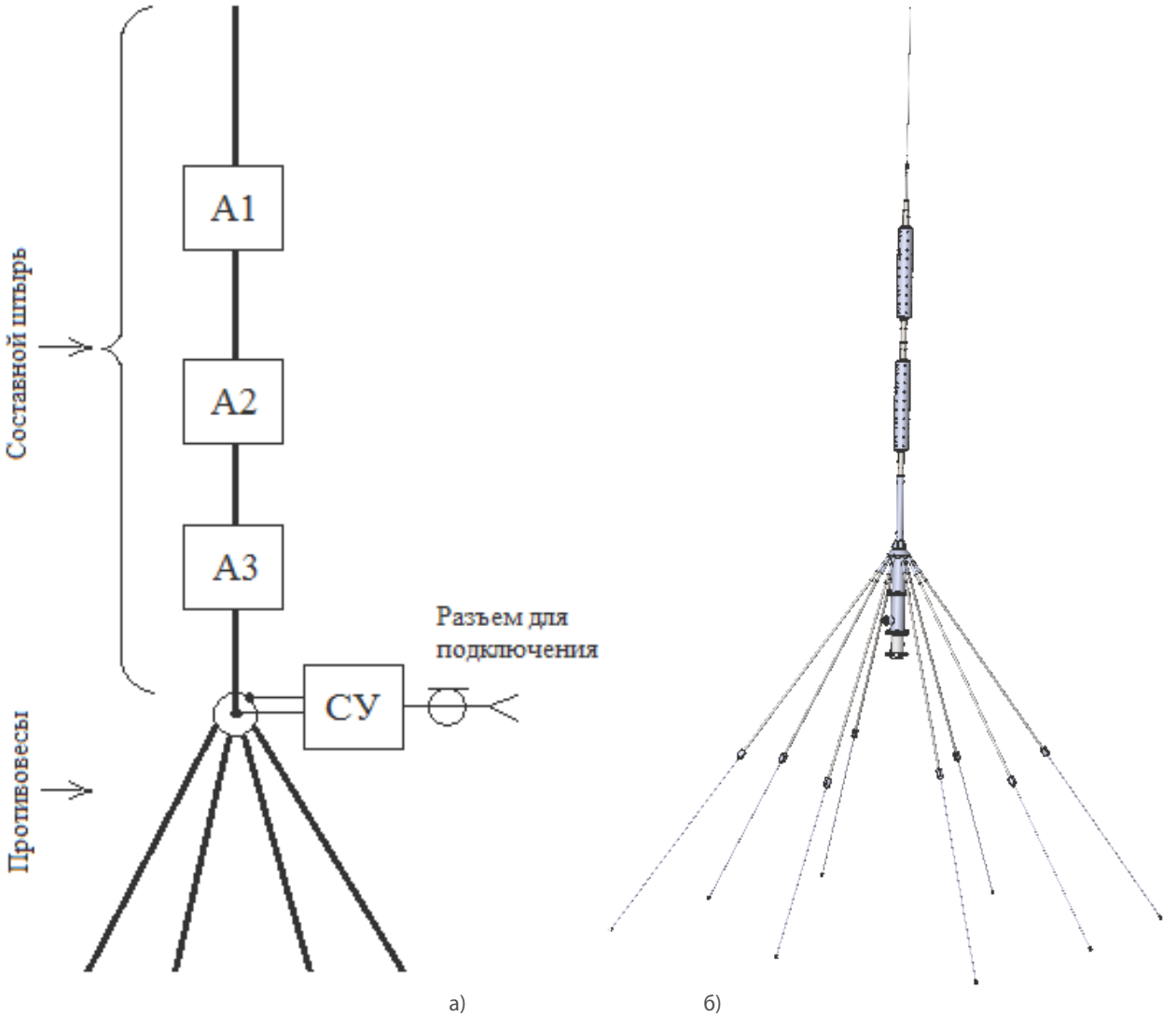
Целью работы является синтез конструкции всенаправленной антенны с рабочим диапазоном частот 30-400 МГц, способной выдерживать подводимую мощность до 200 Вт для установки на мачтовом устройстве.

Основная часть

С целью минимизации массогабаритных характеристик антенного устройства (АУ) за основу конструкции была взята концепция штыревой антенны с противовесами. Для обеспечения согласования АУ в заданной полосе частот в конструкцию штыря были интегрированы сосредоточенные элементы А1, А2, А3 (*рисунок 1а*).

Элемент А1 представляет собой металлокерамический конденсатор, который служит для согласования антенны в области низких частот. Элементы А2 и А3 представляют собой низкодобротные R-L фильтры высоких частот, за счет которых достигается эффект изменения распределения тока по антенне (изменение рабочей длины штыря) в зависимости от изменения рабочей частоты. СУ представляет собой широкополосный небалансный трансформатор волнового сопротивления 1:4 (50 на 200 Ом) [3], выполненный на кольцевом сердечнике М100НН. Противовесы, в количестве 8 шт., выполнены из стальных трубок и расположены осесимметрично, под углами 143º и 152° к штырю. Такое решение позволяет «размыть» резонансные явления в рабочем диапазоне частот за счет варьирования емкостей противовес-штырь.

Способность антенны выдерживать большую подводимую мощность достигнута за счет конструктивного исполнения сосредоточенных элементов, а именно: применения мощных ре-



а) б)

Рис. 1. Разработанное АУ: а) структурная схема разработанного АУ, б) внешний вид разработанного АУ (3Д модель)

Таблица 1

Наименование АУ	Рабочий диапазон, МГц	Максимальная мощность, Вт	КСВН в рабочем диапазоне частот, не более
Антенна Р-168ШДАМ [4]	30-108	600	3,5
Антенна RF-3183-AT1 L3Harris [5]	30-512	50, не более 1 часа	3,5 в 95% диапазона
Разработанное АУ	30-400	200	3,8; 3 в 90% диапазона

зисторов Р1-69-100, используемых также в качестве каркаса для катушек индуктивностей, намотанных проводом соответствующего сечения.

Для обеспечения механической устойчивости к внешним воздействующим факторам сосредоточенные элементы установлены в перфорированные диэлектрические кожухи, а СУ интегрировано в нижнюю часть корпуса антенны и залито вспененным полиуретаном. Также антенна оборудована грозозащитным устройством и имеет сборно-разборную конструкцию для удобства хранения и транспортировки.

На *рисунке 1* приведена структурная схема и внешний вид разработанного АУ.

Ниже приведены результаты моделирования в программе MMANA-GAL pro, а также результаты испытаний опытного образца. На *рисунке 2* приведены расчетные диаграммы направленности (ДН) и КУ разработанной антенны, находящейся в 10 м над «реальной» (сухая песчано-каменистая почва) землей. ДН имеют хорошую стабильность в горизонтальной плоскости.

На основе расчетных данных была разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец. График зависимости величины КСВН от частоты опытного образца антенны приведен на *рисунке 3*. Данная величина не превышает значения 3,8.

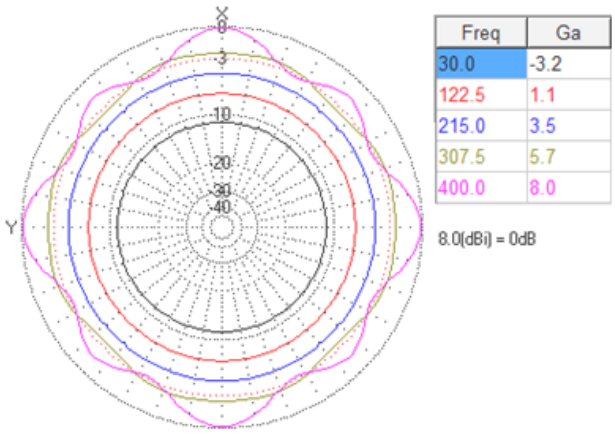


Рис. 2. Расчетные ДН и КУ (Ga) разработанного АУ

В *таблице 1* приводятся параметры широкополосных серийных приемопередающих антенн близких диапазонов частот. Сравнение параметров этих антенн с параметрами разработанной антенны демонстрирует что уровень разработки соответствует современным устройствам.

Заключение

Разработанное антенное устройство имеет удовлетворительное согласование в рабочем диапазоне частот и выдерживает высокую подводимую мощность при относительно небольших массогабаритных характеристиках. Габаритные размеры составили 4000x2300x1800 мм, масса 6,5 кг.

Литература

1. Зельдин И.Л., Кирик И.А., Русинов В.В. Коротковолновые антенны с вертикальной поляризацией. Научно-техническое пособие. Ч.1. Харьков: МКЦ «Аэлита», 1991. 91 с.
2. Овсяников В.В. Вибраторные антенны с реактивными нагрузками. М: Радио и связь, 1985. 120 с.
3. Sevick J. Transmission Line transformers Handbook. Amidon associates, inc. 1997. p.30.
4. Антенно-фидерные устройства и мачты. [Электронный источник] URL:http://srzudm.ru/ index.php/antenna/ 21-kategoriya-izdelij/sredstva-svyazi/svyaz/ antenno-fidernye-ustrojstva-i-machty/ 119-168.
5. Rf-3183-at1xx-multiband-vehicular-antenna-series [электронный источник] URL:http://I3harris.com/all-capabilities/rf-3183-at1xx-multiband-vehicular-antenna-series.

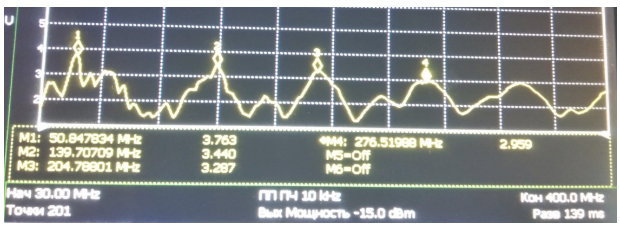


Рис. 3. График зависимости КСВН опытного образца разработанного АУ от частоты

УДК 621.396.96

УЧАСТКИ ТРАЕКТОРИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ

THE TRAJECTORY SECTIONS ARE EXTREME FOR THE MEASURER

Николай Викторович Самбуров
начальник лаборатории
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (4842) 71-86-04
E-mail: samburov.n.v@yandex.ru

Аннотация:
В статье приводится выбор и обоснование экстремальных участков типовых траекторий движения аэродинамических объектов, а также их формализация как исходных данных для моделирования радиолокационных станций. В качестве объектов радиолокации рассмотрен ряд современных самолетов истребительной и штурмовой авиации.
Ключевые слова: радиолокационная станция, измерение, сопровождение, маневр.

Summary
The article presents the choice and justification of extreme sections of typical trajectories of aerodynamic objects, as well as their formalization as initial data for modeling radar stations. A number of modern fighter and ground attack aircraft are considered as objects of radar.
Keywords: radar station, measurement, tracking, maneuver.

Введение

Главной задачей радиолокационной станции обнаружения целей (СОЦ) является определение параметров движения перемещающихся объектов или радиолокационных (РЛ) целей. Несмотря на то, что теоретические основы решения данной задачи давно известны, а множество станций успешно реализуют процессы обзора и сопровождения РЛ целей, в последние годы задача определения параметров движения объектов усложнилась, что объясняется изменившимися условиями измерения [1-3]. Изменение этих условий вызвано большими скоростями движения объектов, возрастающими маневренными способностями и жесткими требованиями к точности измерений в условиях активных и пассивных помех. Необходимость непрерывного отслеживания тактически-опасных целей с выдачей информации потребителям также обуславливают повышение сложности решения задачи определения параметров РЛ целей, что накладывает все более высокие требования к тактико-техническим характеристикам (ТТХ) СОЦ.

Для обеспечения возможности проведения сравнительного анализа качества функционирования СОЦ необходимо, чтобы выбор параметров типовых целей осуществлялся с учетом характеристик реальных РЛ целей. Целью статьи является выбор и обоснование экстремальных участков типовых траекторий движения РЛ целей, а также формализация их в исходных данных для моделирования СОЦ. В качестве РЛ целей будет рассмотрен ряд современных самолетов истребительной и штурмовой авиации, ТТХ которых широко представлены в открытых источниках.

Идеальный измеритель координат

Случай идеального измерителя координат является начальным этапом, который позволит обосновать заведомо неблагоприятные траектории движения цели для последующего исследования на моделях СОЦ.

В первом приближении синтез требований к СОЦ, выполнение которых необходимо для работы с рядом современных и перспективных «опасных» целей может быть произведен на ос-

новании анализа траекторий движения данных целей. Траектория представляет собой непрерывную пространственно-временную функцию $S(t)$, которая с точки зрения идеального измерителя может быть задана совокупностью функций дальности, пеленга и угла места от времени: $D(t)$, $\varphi(t)$ и $\theta(t)$ соответственно. За интервал наблюдения $T_н$ каждая из этих функций может быть описана конечным числом дискретных отсчетов, число которых N может быть определено по теореме Котельникова [4]:

$$N=2F_в T_н,$$

где $F_в$ – наивысшая частота спектра воспроизводимой функции.

Следовательно, конкретная траектория цели может быть воспроизведена, если темп обращения к цели $T_о$ СОЦ, будет удовлетворять неравенству:

$$T_0 \le \frac{T_H}{N} = \frac{1}{2F_в}. \quad (1)$$

Так как различных траекторий может быть бесчисленной множество, то при выборе темпа обращения к цели следует ориентироваться на самую неблагоприятную (экстремальную) траекторию, для которой спектры функций $D(t)$, $\varphi(t)$ и $\theta(t)$ наиболее широкие. Такой траекторией является движение по кругу или вираж, при котором функции $D(t)$, $\varphi(t)$ и $\theta(t)$ будут близкими к гармоническим зависимостям, имеющим частоту $F=1/T$, где T – время полного оборота цели по круговой траектории, радиусом $R_{вир}$. Т.е.:

$$T = \frac{2\pi R_{вир}}{V}.$$

С учетом того что для устоявшегося виража:

$$R_{вир} = \frac{V^2}{g\sqrt{n^2-1}},$$

где n – величина перегрузки. Тогда:

$$F = \frac{g\sqrt{n^2-1}}{2\pi V} \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) получим необходимый темп обращения к цели:

$$T_0 \le \frac{\pi V}{g\sqrt{n^2-1}}.$$

Таким образом, максимальный темп обращения (минимальная величина $T_о$) будет необходим для целей, выполняющих вираж с меньшей линейной скоростью и большей перегрузкой, т.е. по минимальному радиусу виража $R_{вир}$. Соответственно условие минимальной величины $T_о$, является условием заведомо неблагоприятной (экстремальной) для измерителя траектории.

Величина $T_о$ для реальных измерителей ограничивается снизу. Например, для СОЦ на базе вращаемых антенн с круговым обзором, величина $T_о$ определяется темпом вращения, который в свою очередь ограничивается дальностью обзора, способом обработки сигналов, а также техническими возможностями механизмов и узлов. Для СОЦ на базе фазированных антенных решеток темп обращения определяется распределением временного ресурса многофункциональной станции [5] и в общем случае может варьироваться в зависимости от фоноцелевой обстановки [6].

Результаты, которые могут быть полученные по приведенным выше выражениям, не будут учитывать погрешности измерителя и поэтому не могут непосредственно использоваться для синтеза требований к СОЦ. Однако найденные величины можно принять за предельные, а сами выражения – для демонстрации зависимостей.

Обоснование выбора типовых траекторий движения РЛ целей

С точки зрения многообразия выполняемых маневров наиболее интересной является цель типа самолет. Исходя из процесса радиолокационного наблюдения, следует рассматривать наихудшие (экстремальные) для измерителя траектории самолетов. Для СОЦ наиболее сложной для сопровождения является такая траектория которая включает в себя следующие элементарные участки:

1) Выполнение маневра на минимальной скорости и с максимальными перегрузками (что обосновывается выше).

2) Прямолинейное движение на максимальной скорости. В этом случае снижается время контакта $T_н$, а значит снижается и точность измеренных параметров цели для случая неидеального измерителя [7].

Рассмотрим их отдельно.

1. Горизонтальный маневр типа вираж.

Условие, при котором самолет участвует в маневренном воздушном бою либо осуществляет противоракетный маневр, характеризуется максимально возможными угловыми скоростями и перегрузками, что является экстремальным для наблюдателя. Следовательно, эти условия можно принять за основу.

Ключевым элементом любого маневренного боя является вираж (разворот) – именно данная траектория и будет рассмотрена, а в качестве прототипа непосредственного объекта локации будет рассмотрен современный истребитель (обычно многоцелевой) [1,2].

Вираж самолета – это криволинейный полет в горизонтальной плоскости с разворотом на 360º (его часть называется разворотом). Стоит отметить, что согласно тактике применения истребительной авиации диапазон скоростей современных маневренных воздушных боев соответствует числам M=0.5-0.9 [8,9]. При этом максимальная угловая скорость установивше-

гося разворота достигается в диапазоне чисел $M=0.8\pm0.1$. Исключение составляет форсированный разворот с потерей скорости, но число таких разворотов в бою ограничивается вследствие быстрой потери энергии (а значит и преимущества). При числах $M>1$ выигрыша в маневренности добиться нельзя. Все попытки летчика быстрее развернуться на противника или от него выводили самолет в диапазон околозвуковых скоростей (см. *рисунок 1*) [8].

Так при скорости, превышающей $M=1.1$-1.2, маневренность уменьшается до единиц градусов в секунду, а радиусы установившегося виража $R_{вир}$ составляют многие километры. Фактически единственным тактически оправданным маневром в этом случае является горка на сверхзвуковой скорости, например, с выходом на динамический потолок, или выходы на наклонные пересекающиеся с противником траектории. Данные маневры, используемые в маневренном воздушном бою, не представляют проблем для системы вторичной обработки СОЦ.

Выбор характерных величин перегрузок на

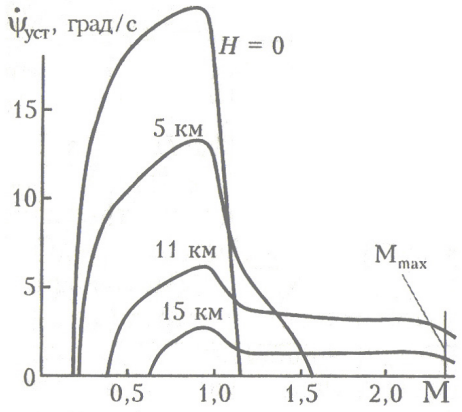


Рис. 1. Нормальная установившаяся угловая скорость разворота (ψ) для разной скорости (M) и высоте полета (H)

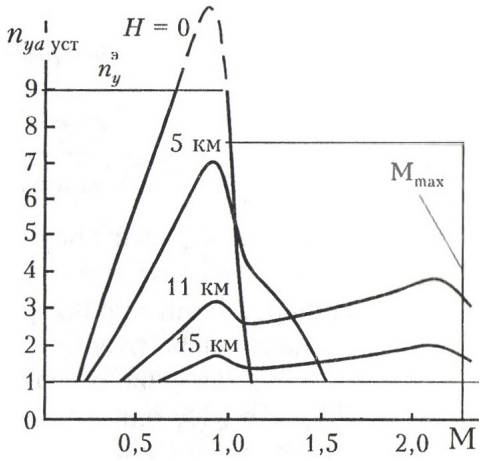


Рис. 2. Нормальная установившаяся перегрузка разворота для разной скорости (M) и высоте (H) полета

вираже следует рассматривать с учетом высоты осуществления маневра. Рассмотрим три аспекта этого вопроса:

1) Максимальная величина перегрузки на установившемся маневре разворота. Согласно *рисунку 2* величина максимальной перегрузки $n=10$-11 достигается на высотах H до 1000 м.

2. Величина перегрузки на установившемся маневре разворота с учетом тяговооруженности и нагрузки на крыло. На *рисунке 2* отмечено предельное значение величины перегрузки $n=9$. Эта величина характерна для истребителей 4 поколения. На *рисунке 3* представлены показатели маневренности, рассчитанные по тяговооруженности и нагрузке на крыло, для истребителей (в т.ч. многофункциональных) разработки второй половины и конца прошлого века. Для современных самолетов (истребителей 4-5 поколения) эта величина может доходить до $n=10$, в частности:

- EF-2000 Typhoon $n=9$;
- Mirage 2000 $n=8$;
- Rafale M $n=9$;
- F-35C Lighting-II $n=9$;
- F/A-18E/F Super Hornet $n=7{,}6$.

3) Предел физических возможностей летчика. Пределом физических возможностей человека в противоперегрузочном костюме являются положительные перегрузки величиной $n=10$-12.

Таким образом, с учетом анализа вышеприведенных факторов и некоторой перспективности целевой обстановки, можно выразить следующие параметры экстремального виража: $V=270$ м/с, $H=0$-1000 м, $n=12$.

2. Движение на максимальных скоростях.

Высокая скорость самолета позволяет минимизировать время нахождения в зоне обзора СОЦ или зоне действия ЗРК [10]. Непосредственной задачей в этом случае может являться как разведка (обычно движение прямолинейное на больших высотах), так и демонстративные (провокационные) действия с целью отвлечь ресурсы или спровоцировать активные действия

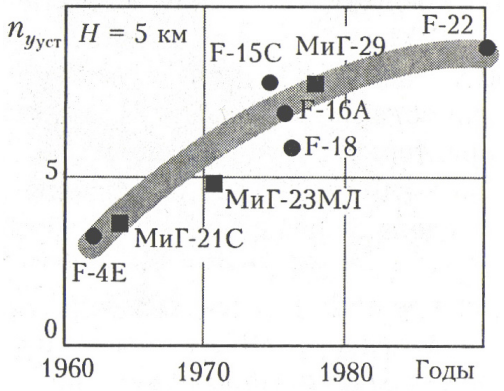


Рис. 3. Нормальная перегрузка установившегося маневра

средств ПВО. Поэтому в качестве прототипа непосредственного объекта локации достаточно рассмотреть ряд совершенных скоростных высотных перехватчиков, разведывательных и многофункциональных машин: самолет-разведчик SR-71, перехватчики МиГ-25 и МиГ-31 (предназначенные для противодействия SR-71) и многоцелевой истребитель 5 поколения F-22.

С 1998 года самолет-разведчик SR-71 выведен из эксплуатации, однако его скоростные и высотные характеристики остаются рекордными и по сей день (крейсерские значения скорости и высот полета: M=3.3, H=22-24 км). Многолетняя эксплуатация этих самолетов подтвердила правильность и эффективность концепции высотного скоростного разведчика. Аэродинамическая схема, титановая конструкция, элементы малозаметности и турбопрямоточные двигатели SR-71, теоретически (при соответствующей конструкции воздухозаборника) способные разогнать самолет-разведчик до M=4 (и даже более) – все это делают SR-71 непревзойденным достижением инженерной мысли. В то же время, практика применения показала, что уже крейсерская скорость M=2.5 на высоте более 20 км делает разведчик практически неуязвимым для наземных средств ПВО конца прошлого века. Соответственно при проектировании перехватчика МиГ-31 отказались от первоначального требования достижения максимальной скорости M=4, а решили оставить ее на уровне МиГ-25, т.е. M=2.8.

Другие (даже более современные) самолеты обладают существенно худшими скоростными характеристиками. Скорость большинства современных истребителей ограничена M=2. Так аэродинамические свойства конструкции многофункционального истребителя 5 поколения F-22 оптимизированы для крейсерского сверхзвукового полета со скоростью M=1.3-1.4. При этом он не рассчитан на применение оружия на скоростях больше M=1.2.

Следует также рассмотреть характеристики перспективных авиационных двигателей. Традиционные методы совершенствования двигателей, предназначенных для полетов со скоростями в диапазоне M=0-3, в значительной мере исчерпаны. В настоящее время ведутся работы по созданию перспективных гиперзвуковых ($M\geq5$) двигателей со скоростными характеристиками с числами M=6-..8. Однако их эффективность по сравнению с традиционными установками мала. Причем основной проблемой является не достижение больших чисел M, а возможность функционировать в широком диапазоне – вплоть до нулевых значений M [11,12].

Учитывая скоростные и высотные характеристики рассмотренных самолетов определим следующие экстремальные параметры участков типовой траектории скоростного прохода зоны обзора СОЦ: V=1100 м/с, H=20 0000-24 000 м, n=0.

Заключение

Широкий ряд синтезированных траекторий, содержащих формализованные выше экстремальные участки, могут быть использованы для моделирования работы СОЦ в неблагоприятных условиях измерений. Начальные и конечные значения величин $D(t)$ в статье не приводятся, так как эти значения зависят как от ТТХ конкретных станций, так и от ЭПР аэродинамических объектов.

Литература

1. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра. Под ред. Е.А. Федосова. М.: Дрофа, 2004. 817 с.
2. Современная военная авиация. Пер. с англ. А.А. Жеребилова. Смоленск: «Русич», 2000. 127 с.
3. Ботов М.И. Основы теории радиолокационных систем и комплексов: учеб. / М.И. Ботов, В.А. Вяхирев; под общ. редакцией М.И. Ботова. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 530 с.
4. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения). Под ред. В.В. Григорина-Рябова. М.: Советское радио, 1970. 680 с.
5. Одзиляев Д.С. Постановка задачи разработки эффективного алгоритма распределения временного ресурса РЛС / Д.С. Одзиляев, Н.В. Самбуров // Вопросы радиоэлектроники, 2016. №10. С. 85-93.
6. Одзиляев Д.С. Целевая функция задачи обзора многофункциональной РЛС / Д.С. Одзиляев, Н.В. Самбуров // Электромагнитные волны и электронные системы, 2019. Т.24. №3. С. 20-24.
7. Карташкин А.С. Радионаблюдение воздушных объектов: Уч. пособ. М.: ИП РадиоСофт, 2014. 495 с.
8. Бабич В.К. Истребители меняют тактику. М.: Воениздат, 1983. 151 с.
9. Бабич В.К. Авиация в локальных войнах. М.: Воениздат, 1988. 206 с.
10. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. М.: Воениздат, 1980. 294 с.
11. Вафина Е.А. Особенности использования гиперзвуковых летательных аппаратов // Политехнический молодежный журнал, 2021. №6(59). С.1-6.
12. Белкин В.Н. Гиперзвуковые технологии в проектах оружия и ЛА / В.Н. Белкин, С.П. Муравлев // Авиационные системы, 2013. №7. С.2-23.

УДК 621.396.96

ИНТЕРВАЛ ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ЭХОСИГНАЛОВ ОТ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

INTERVAL OF TIME CORRELATION OF ECHO SIGNALS FROM SURFACE OBJECTS

Анатолий Валерьевич Аксёнов
инженер-конструктор
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (906) 641-38-55
E-mail: an.aksionov2014@yandex.ru

Николай Викторович Самбуров
начальник лаборатории
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
Тел.: +7 (4842) 71-86-04
E-mail: samburov.n.v@yandex.ru

Аннотация:
В статье рассматривается интервал временной корреляции эхосигналов, отраженных от надводных объектов, находящихся в прямой видимости радиолокационной станции X диапазона. В качестве конкретных объектов рассматриваются суда и корабли различного водоизмещения. Исследование осуществляется на основе анализа источников, содержащих теоретические и практические результаты.
Ключевые слова: эхосигнал, интервал корреляции, спектр, радиолокационная станция.

Summary
The article considers the interval of time correlation of echo signals reflected from surface objects located in the line of sight of the X-band radar station. Vessels and ships of various displacement are considered as specific objects. The study is carried out on the basic of an analysis of sources containing theoretical and practical results.
Keywords: echo signal, correlation interval, spectrum, radar station.

Введение

В процессе формирования требований к устройствам обработки радиолокационной информации необходимо учитывать диапазон спектра флюктуаций (или интервала временной корреляции) полезного сигнала. От чего в значительной степени зависит не только метод обработки полезного, но и эффективность подавления помеховых сигналов.

Источниками временной флюктуации сигнала, отраженного от надводных объектов при малых углах скольжения, являются [1]:

- флюктуации величины ЭПР, обусловленные качкой или маневром;
- флюктуации функции ослабления, обусловленные отражением от взволнованной поверхности моря.

Численный учет общей корреляционной функции сигнала на основе математических моделей флюктуаций ЭПР, подстилающей поверхности и среды распространения вызывает значительные трудности, связанные с обоснованием (выбором) конкретных математических моделей и значительным объемом вычислений. Поэтому данное исследование будет осуществляться на основе анализа доступных источников, содержащих результаты практических исследований и моделирования, а также на основе аналитических выражений.

Информация о флюктуации сигнала, отраженного от надводных объектов (кораблей, судов) в прямой видимости, может быть получена на основе анализа ряда открытых источников [1-9]. Однако, как будет показано ниже, данная информация может некоторым образом разниться, так как была получена различными способами (численное моделирование, практические исследования различных объектов в различных условиях).

Целью статьи является анализ и сопоставление данных о спектре флюктуации сигнала, отраженного от надводных целей (в частности, кораблей) в прямой видимости при скользящих углах облучения. Работа выполняется для X диапазона частот, наиболее актуального для морской радиолокации [7].

Флюктуация ЭПР цели

Известно, что возможное время когерентной обработки сигнала T_c должно быть меньше интервала корреляции τ_k [2]:

$$T_c < \frac{1}{\Delta f_{цт}} = \tau_k,$$

где $\Delta f_{цт}$ – полоса частот сигнала (максимальное значение).

Например, при маневрировании цели полоса доплеровских частот сигнала определяется радиальным ускорением цели:

$$\Delta f_ц = \sqrt{\frac{2a_ц}{\lambda}}, \quad (1)$$

где $a_ц$ – радиальное ускорение при маневре цели.

Таким образом, выражение (1) можно использовать для оценки флюктуаций ЭПР за счет маневра и качки. Однако в случае сложной (распределенной) цели спектр отраженного сигнала зависит не только от совершаемого маневра.

Ниже рассмотрены распространенные модели сложных целей и данные практических исследований из доступных источников.

Модель «локальных источников»

В соответствии с моделью локальных источников, для получения приближенной оценки интервала корреляции флюктуаций ЭПР корабля предполагают, что локальные источники равномерно распределены на проекции высоты корабля на плоскость, поперечную направлению распространения поля [1]:

$$\tau_\sigma \approx \frac{\sqrt{\pi}}{2kLD_v}\left[0{,}6 + \ln\left(N-1\right)\right],$$

где N – число основных локальных источников корабля;

L – проекция высоты корабля на поперечную плоскость;

D_v – СКО значения скорости изменения углов килевой качки.

Если число основных локальных источников корабля составляет от 2 до 5 единиц (корабль типа крейсер) и волнение моря – 3 балла, то рассматриваемый интервал корреляции составляет τ_σ=0,03-0,1 с.

Модель «распределенной цели»

При большой относительной скорости перемещения РЛС и цели ширину спектра отраженного сигнала можно считать равной разности доплеровских приращений частот для крайних элементов объекта [3, 8]:

$$\Delta F = \frac{2V}{\lambda}\theta_ц \sin\alpha, \quad (2)$$

где $\theta_ц$ – угловая ширина цели;

α – курсовой угол середины цели (угол между вектором относительной скорости V и направлением на цель).

Таким образом, ширина спектра (время корреляции, скорость флюктуаций) отраженного сигнала связана с относительной скоростью перемещения, курсом и размерами цели, а также угловыми перемещениями элементарных отражателей относительно центра масс цели.

С помощью выражения (2) проведем расчет для распространенной морской цели, находящейся на дальностях до радиогоризонта в условиях повышенной рефракции.

Условная длина цели: l = 140 м.

Относительная скорость: $v_{кр}$ =20 узлов.

Дальность: D=10-30 км.

Курсовой угол: α=90°.

Несущая частота РЛС: f_0=9000 МГц.

Угловая ширина объекта (цели): $\theta_ц = arctg(l/D)$=0.014-0.047 рад.

Используя (2), получим ширину спектра отраженного сигнала $\Delta F \approx$2,88-8,64 Гц, что соответствует τ_σ=0,1-0,35 с.

Полученные значения интервала корреляции превышают соответствующие значения из [1] (см. выше *«модель локальных источников»*), так как в модели «распределенной цели» ширина спектра сигнала определяется только положением и относительной скоростью цели и не зависит от морского волнения (учет качки). К тому же данная модель справедлива при большой относительной скорости перемещения, т.е. на относительно малых дальностях.

Данные, изложенные в [2].

Согласно [2], колебания по курсу, крену и килю (для целей типа крейсер, авианосец) считаются узкополосным случайным процессом, а интервал корреляции отраженного сигнала в X-диапазоне составляет τ_σ=0,5-1 с (без указания степени волнения моря). На основании каких конкретно исследований и условий получены эти данные, не указывается. Однако можно предположить, что данная значительная величина τ_σ справедлива для кораблей с большим водоизмещением (а значит слабо зависит от характера волнения).

Следует отметить, что меньшие значения интервала корреляции в случае применения модели *локальных источников* объясняются учетом влияния волнения моря (3 балла) и сравнительно небольшим водоизмещением модели корабля. Таким образом, основной вклад в флюктуации ЭПР определяются: для крупных целей – относительными перемещениями при движении и маневре, для малых целей – качкой, вызванной волнением моря.

Данная глава не содержит результатов практических измерений в связи с их отсутствием. Причиной этого является невозможность обо-

собленных замеров величины флюктуации сигнала, отраженного от практических целей (под скользящими углами) без учета флюктуаций функции распространения. Таким образом, данные, представленные в этой главе, носят ознакомительный (вводный) характер.

Флюктуации функции ослабления

В зоне прямой видимости главной причиной флюктуаций функции ослабления являются отражения от морской поверхности.

Модель обратного рассеяния морской поверхностью.

Согласно [5], временной интервал корреляции функции ослабления при скользящих углах наблюдения зависит от волнения моря и пропорционален длине волны поля:

$$\tau_V = \frac{1}{\Delta F} = \frac{\lambda}{2\upsilon_{орб}},$$

где $\upsilon_{орб}$ – орбитальная скорость крупных гравитационных волн:

$$\upsilon_{орб} = \frac{\pi H}{T} = 1{,}29 \cdot 10^{-2} \pi U^{1.5},$$

где H – высота морской волны:

$$H = 7{,}2 \cdot 10^{-3} U^{2.5},$$

T – период морской волны: $T=0{,}56U$, U – скорость ветра (м/с).

Для 3-бального волнения моря ($U \approx 3{,}5 \div 5{,}5$ м/с) [6] и длины волны 3,2 см интервал корреляции: $\tau_V \approx 0{,}03 \div 0{,}06$ с, что соответствует утверждению из [1] о том, что «временной интервал корреляции функции ослабления при скользящих углах наблюдения пропорционален длине волны поля и составляет сотые доли секунды на волне 3,2 см».

Практические данные из [5].

В [5] флюктуации радиолокационного сигнала, отраженного морской поверхностью, рассматриваются как результат доплеровского сдвига частоты, обусловленного движением отдельных рассеивающих элементов. По результатам экспериментальных работ утверждается, что ширина спектра рассеянного сигнала в значительной степени зависит от волнения моря и скорости ветра (*таблица 1*).

Таким образом, значения временного интервала корреляции находятся в пределах:

$$\tau = 1/\Delta F \approx 0{,}014\text{-}0{,}03 \text{ с.}$$

Практические данные из [7]

В [7] отмечается, что *средний частотный сдвиг отраженного сигнала* f_∂ появляется вследствие явления пространственного резонанса и движения морских волн и зависит от:

- направления облучения;
- величины и направления ветра;
- угла скольжения.

Полученные экспериментальные данные f_∂ выражены через условную радиальную скорость υ_∂:

$$f_\partial = \frac{2\upsilon_\partial}{\lambda}$$

и для малых углов скольжения и диапазона скоростей ветра 1,5-12 м/с $f_\partial \in [8;80]$ Гц

$$\tau = 1/f_\partial \approx 0{,}01\text{-}0{,}13 \text{ с.}$$

Практические данные из [9]

В [9] получены экспериментальные оценки спектра флюктуаций амплитуды сигнала, отраженного морской поверхностью. Анализ спектра показал, что его верхние частоты лежат в интервале 100-170 Гц, что соответствует интервалам временной корреляции $\tau < 0{,}01$ с. Следует отметить, что в данном источнике не уточняются условия проведения эксперимента, а именно скорость ветра, степень волнения моря, угол наклона луча к поверхности.

Данные, представленные в главе, несмотря на различные условия экспериментов и условности модели, имеют один порядок при одинаковой скорости ветра.

Результирующий спектр флюктуаций сигнала

В условиях нерегулярного морского волнения и неизменном в течение достаточного продолжительного времени взаимном расположении корабля и измерительной РЛС, суммарный интервал корреляции оказывается сложной функцией интервалов корреляции флюктуаций ЭПР корабля и функции ослабления [1,4]:

$$\tau_\Sigma \approx F\left(\tau_\sigma, \tau_V\right). \quad (3)$$

Таблица 1

Зависимость ширины спектра ΔF от волнения морской поверхности и скорости ветра, Гц

Степень волнения моря, баллы	ΔF, Гц (λ=3 см)	Скорость ветра, м/с	ΔF, Гц (λ=3,5 см)
1	40	5	47
2	53	4,2...8,3	56...69
3	62	4,2…10,3	34...74
		Ветреная погода	61

Согласно [7], спектр флюктуаций отраженного сигнала меняется от 2 (для крупных судов при малом волнении моря) до 60 Гц (для малых судов при волнении моря 4-5 баллов и судов, совершающих циркуляцию), что соответствует интервалу корреляции τ от 0,016 до 0,5 с и объясняется:

- диффузной составляющей в сигнале, переотраженном морской поверхностью;
- качкой и рысканием судна;
- циркуляцией судна, приводящей к смене части блестящих точек, формирующих отраженный сигнал.

При длительном когерентном накоплении спектры флюктуаций содержат несколько пиков от сигналов блестящих точек, перемещающихся с различными скоростями при качке судна, а время самого накопления по судам ограничивается их ускорениями при качке (на длине волны 3 см T<10-100 мс) [7].

Заключение

Результирующий спектр флюктуаций составляет от единиц (ΔF_{min}≈2 Гц) до десятков (ΔF_{max}≈60 Гц) Герц. Решающий вклад в результирующий спектр вносят: для крупных морских объектов – относительные перемещения и для малых кораблей и кораблей, совершающих циркуляцию – сильное волнение моря. Таким образом, для морских объектов, находящихся в прямой видимости РЛС, можно принимать τ=16-500 мс.

Литература

1. Штагер Е.А. Отражение радиоволн от кораблей и других морских объектов. СПб: ВВМ, 2004. 418 с.
2. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития. М.: Радиотехника, 2008. 432 с.
3. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Высшая школа, 1990. 496 с.
4. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы. М.: Радио и связь, 1986. 183 с.
5. Кулемин Г.П., Разсказовский В.Б. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью Земли под малыми углами. Киев: Наукова думка, 1987. 323 с.
6. Бородай И.К., Нецветаев Ю.А. Мореходность судов. Л.: Судостроение, 1982. 288 с.
7. Винокуров В.И., Генкин В.А., Калениченко С.П. Морская радиолокация. Под ред. В.И. Винокурова. Л.: Судостроение, 1986. 256 с.
8. Тверской Г.Н., Терентьев Г.К., Харченко И.П. Имитаторы эхосигналов судовых радиолокационных станций. Л.: Судостроение, 1973. 224 с.
9. Бадулин Н.Н., Гулько В.Л. Поляризационные характеристики рассеяния радиолокационных сигналов морской поверхностью // Радиоэлектроника, 1991. №4. С.26-31.

УДК 654.16

МНОГОЧАСТОТНЫЙ MIMO РАДИОКАНАЛ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

MULTI–FREQUENCY MIMO RADIO CHANNEL IN THE DECAMETER RANGE: MAIN PROVISIONS AND DIRECTIONS OF RESEARCH

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
ведущий научный сотрудник
АНО «Институт инженерной физики».
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (985) 141-79-09
E-mail: tsimbalva@mail.ru

Василий Евгеньевич Тоискин
кандидат технических наук
доцент кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (985) 161-12-62
E-mail: vetoiskin@mail.ru

Аннотация:
На основе рассмотрения особенностей декаметровой связи и технологии MIMO предложен подход к повышению пропускной способности и скрытности радиоканалов за счет реализации многочастотного варианта MIMO технологии. Определены направления исследований основных характеристик такого варианта.
Ключевые слова: декаметровый радиоканал, технология MIMO, помехоустойчивость, пропускная способность, скрытность.

Summary
On the basis of consideration of features of decameter communication and MIMO technology approach to increase in capacity and reserve of radio channels due to realization of multifrequency option of MIMO technology is offered. The directions of researches of the main characteristics of such option are defined.
Keywords: decameter radio channel, MIMO technology, noise stability, capacity, reserve.

В настоящее время декаметровые (ДКМВ) радиоканалы применяются в различных сферах деятельности государственных и коммерческих структур, обеспечивая информационный обмен в интересах критических инфраструктур, имеющих удаленные объекты на расстояния в сотни и тысячи километров. Востребованность ДКМВ обусловлена значительно меньшей стоимостью развертывания приемо-передающего оборудования относительно спутниковых аналогов, а также тем, что ДКМВ радиосвязь оказывается зачастую единственным доступным видом связи в конкретных условиях обстановки.

Известно [1-3], что ДКМВ радиоканалы функционируют вследствие отражения радиоволны от ионосферы. При этом ионосфера имеет неоднородную и нестационарную структуру, что приводит к многолучевости в точке приема и, как следствие, к замираниям сигнала. Всвязи с изложенным, обеспечение требуемого качества ДКМВ радиоканалов по пропускной способности и помехоустойчивости является неординарной задачей. Отметим, что для систем специального назначения к ДКМВ радиоканалам дополнительно предъявляются требования по помехозащищенности, включающие в себя требования по скрытности.

Известно, что для борьбы с эффектом замирания сигнала используются различные методы разнесения, основная идея которых основывается на обеспечении некоррелированности замираний в разнесенных подканалах. Разнесение может быть организовано по поляризации антенн, по пространству, по времени и по частоте. Наиболее применимым в ДКМВ радиоканалах является метод разнесенного приема на несколько пространственно-разнесенных антенн. Однако, такой метод обеспечивает лишь повышение помехоустойчивости, а в условиях возрастающих потоков информации вопрос повыше-

ния пропускной способности может оказаться первостепенным, особенно в сильно ограниченном частотном ДКМВ диапазоне.

В последние годы в дециметровых и сантиметровых диапазонах частот основным направлением повышения пропускной способности и помехоустойчивости в радиоканалах с замираниями является применение технологии MIMO [4,5]. Суть технологии MIMO заключается в использовании нескольких передающих антенн N_T и нескольких приемных антенн N_R для организации радиоканала на одной несущей частоте f_1 в неоднородных средах распространения радиоволн, вызывающих замирания сигналов в точке приема. При этом в качестве положительного эффекта в MIMO каналах имеется:

- повышение пропускной способности канала относительно каналов с одной приемной и одной передающей антеннами;
- повышение помехоустойчивости в каналах с замираниями;
- пространственное мультиплексирование информации от разных абонентов;
- обеспечение пространственной избирательности за счет динамического формирования диаграммы направленности на сеансе связи.

Технология MIMO реализована в таких стандартах связи как IEEE 802.11, 802.16, LTE и др. Применению MIMO в каналах ДКМВ диапазона препятствует ряд проблемных вопросов, основным из которых является наличие площадных ограничений на построении антенных систем, обеспечивающих некоррелированность замираний на разных антеннах. Согласно [6] интервал разноса должен составлять более десяти длин волн, что в ДКМВ диапазоне составляет более 100 метров. Особо остро данная проблема стоит в случае организации канала между подвижными объектами.

Однако известны работы [7-9], указывающие на заметный прогресс в построении антенных систем в ДКМВ радиоканалах. Таким образом, созданы предпосылки для внедрения технологии MIMO в рассматриваемом диапазоне частот, что обуславливает объективную необходимость разработки соответствующего научно-методического аппарата и формирования обоснованных предложений по их реализации.

Как было указано выше, получение требуемых показателей качества в каналах с замираниями возможно при реализации различных методов разнесения. Технология MIMO основана на пространственном разнесении передающих и приемных антенн. Расстояние такого разноса определяется в зависимости от интервала пространственной корреляции замираний. Так, в работе [10], предложен уточненный метод определения интервала пространственной корреляции замираний однолучевой ДКМВ радиолинии в зависимости от параметров мелкомасштабных ионосферных неоднородностей, эквивалентной протяженности радиолинии и выбора рабочей частоты сигнала через величину среднеквадратического отклонения флуктуаций фазового фронта волны на выходе неоднородной ионосферы. Для применения указанного метода, необходимо получение данных о параметрах ионосферы в конкретный момент времени, что возможно в результате мониторинга с использованием спутниковых навигационных систем [11,12]. С использованием рассчитанного интервала пространственной корреляции определяется уточненное расстояние между двумя соседними антеннами как на передающей, так и на приемной сторонах. В случае сокращения рекомендованного расстояния разноса антенн появляется частичная корреляция замираний в различных антеннах, что согласно [4] приводит к возрастанию потери пропускной способности, а в случае, когда коэффициент пространственной корреляции в двух антеннах равен единице, приводит к отсутствию эмерджентного эффекта от разнесения, и пропускная способность такого канала становится равной значению для случая применения одной передающей и одной приемной антенн.

Вторым направлением применения технологии MIMO является повышение помехоустойчивости. Этот эффект базируется на классических подходах разнесенной передачи и разнесенного приема, изложенных в [6], которые реализуют параллельную обработку в совокупности ветвей приема. Необходимо отметить, что для реализации оптимального корреляционного приема по критерию максимального правдоподобия требуемое число ветвей приема зависит не только от числа символов передаваемого алфавита сообщения, но и от числа передающих антенн. Это приводит к возрастанию вычислительной сложности и усложнению алгоритмов реализации оптимального приема. Решение данного вопроса лежит в области применения пространственно-временного кодирования. Так, для уменьшения сложности приемного устройства были предложены ортогональные пространственно-временные коды, которые позволяют повысить помехоустойчивость, при этом организовать принятие решения о переданном символе с использованием линейных операций [4,6,13].

Линейность алгоритма приема обеспечивается за счет ортогональности передаваемых векторов информационных символов на соседних тактовых интервалах. Отметим, что суще-

ствуют неортогональные и квазиортогональные пространственно-временные коды, применение которых приводит к появлению взаимной корреляции векторов информационных символов и оказывает негативное влияние на помехоустойчивость [14].

Простейшим ортогональным пространственно-временным кодом является код Аламоути, реализуемый в системах 2x2:

$$G_2 = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} \tau_1 & \tau_2 \end{array} \\ \begin{vmatrix} z_1 & -\overline{z}_2 \\ z_2 & \overline{z}_1 \end{vmatrix} \end{array}. \quad (1)$$

Данный код предназначен для работы на двух передающих антеннах, с использованием которых за два тактовых интервала τ_1 и τ_2 передается два комплексных информационных символа. Таким образом, данный код обладает скоростью $R=1$, под которой понимается отношение числа передаваемых символов k к числу затрачиваемых тактовых интервалов s [6,13]:

$$R = \frac{k}{s}.$$

В общем виде схема реализации кода Аламоути для двух комплексных информационных символов z_1 и z_2 представлена на *рисунке 1*.

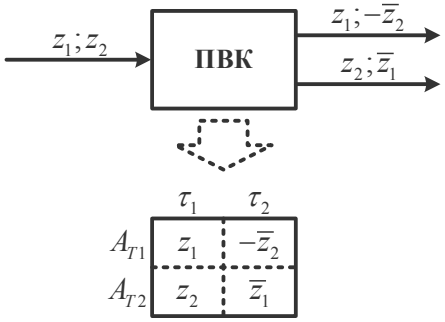


Рис. 1. Схема реализации кода Аламоути

Доказано, что код Аламоути является уникальным по так называемому ранговому критерию [13], т.е. он имеет максимальный порядок разнесения (для случая 2x2 порядок разнесения равен 4) и обладает скоростью $R=1$.

Построение ортогональных пространственно-временных кодов для большего числа антенн основывается на теории ортогональных форм [13]. В работе [15] доказано, что число вариантов ортогональных форм сильно ограничено – для вещественных чисел размерами 2x2, 4x4 и 8x8, а для комплексных чисел – только размером 2x2. Исходя из этого, коды для большего числа антенн, обеспечивающие максимальный порядок разнесения, обладают скоростью $R \le 0{,}5$ [13,15]. Известны исключения из данного правила (например, для числа передающих антенн $N_R=3$ и $N_R=4$ имеются коды, обладающие скоростью $R=3/4$), однако такие коды все же имеют скорость $R<1$. Таким образом, повышение помехоустойчивости обеспечивается за счет снижения пропускной способности. Например, код для числа передающих антенн $N_R=4$ и четырех передаваемых символов со скоростью кода $R=1/2$ имеет вид:

$$G_4 = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccc} \tau_1 & \tau_2 & \tau_3 & \tau_4 & \tau_5 & \tau_6 & \tau_7 & \tau_8 \end{array} \\ \begin{vmatrix} z_1 & -z_2 & -z_3 & -z_4 & \overline{z}_1 & -\overline{z}_2 & -\overline{z}_3 & -\overline{z}_4 \\ z_2 & z_1 & z_4 & -z_3 & \overline{z}_2 & \overline{z}_1 & \overline{z}_4 & -\overline{z}_3 \\ z_3 & -z_4 & z_1 & z_2 & \overline{z}_3 & -\overline{z}_4 & \overline{z}_1 & \overline{z}_2 \\ z_4 & z_3 & -z_2 & z_1 & \overline{z}_4 & \overline{z}_3 & -\overline{z}_2 & \overline{z}_1 \end{vmatrix} \end{array}. \quad (2)$$

Схема реализации такого кода в общем виде аналогична схеме для кода Аламоути и представлена на *рисунке 2*.

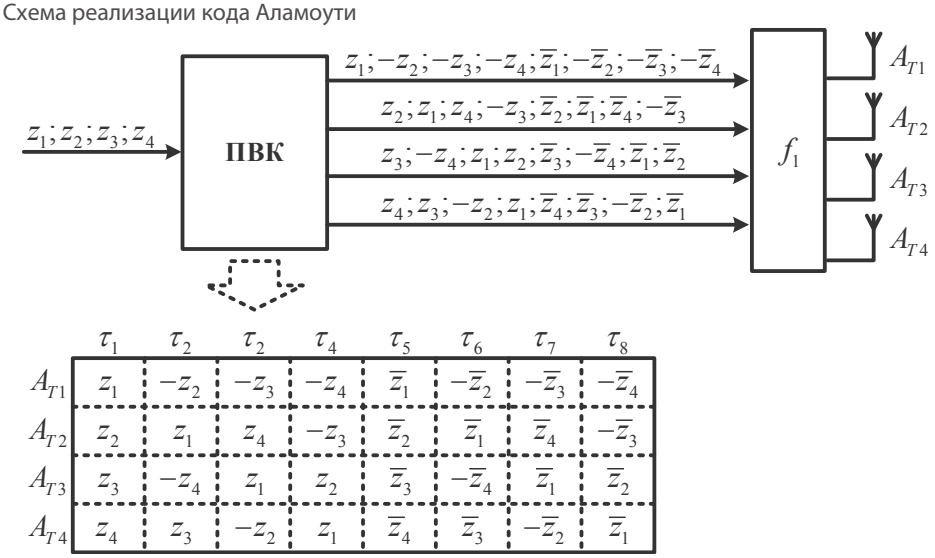


Рис. 2. Схема реализации ортогонального пространственно-временного кода для передачи четырех символов и скорости $R=1/2$

Необходимо отметить, что в настоящее время все решения в технологии MIMO реализуются при использовании одной частоты, так как первоначальной целью появления MIMO являлось повышение спектральной эффективности в условиях сильного дефицита свободных участков спектра в результате возрастающих требований по пропускной способности. Однако в интересах функционирования большинства систем связи критической инфраструктуры выделяется совокупность рабочих частот в пределах одного диапазона. Тогда появляется возможность в интересах одной системы связи при наличии свободных частот $f_1, f_2, f_3 \ldots f_r$ организовать работу по технологии MIMO одновременно на нескольких частотах. Рассмотрим пример замены разнесения на четыре передающие антенны схемой с двукратным разнесением антенн на двух частотах.

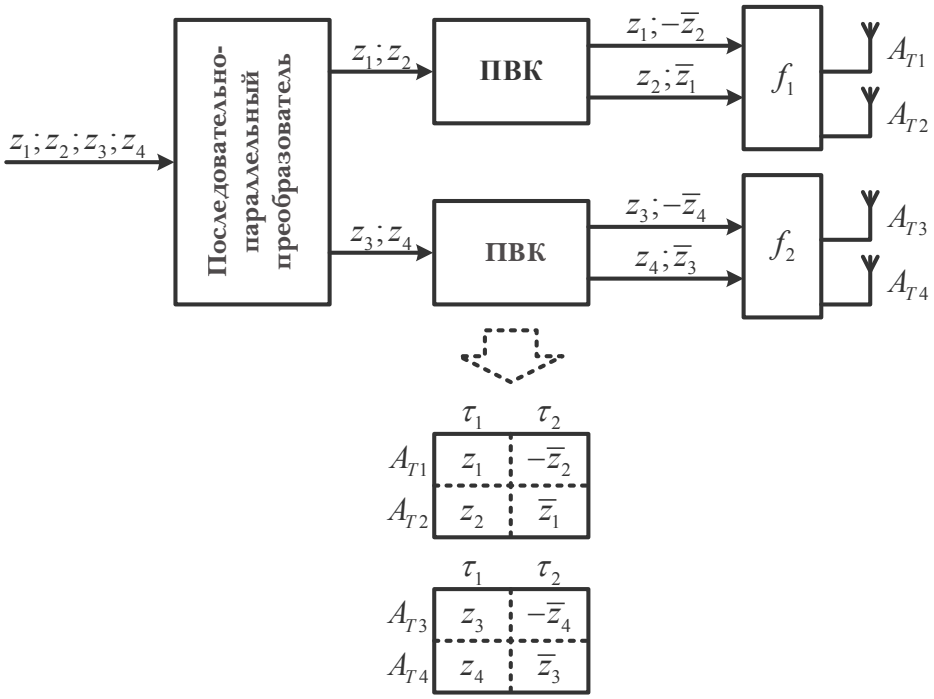


Рис. 3. Обобщенная схема реализации двухчастотного MIMO радиоканала

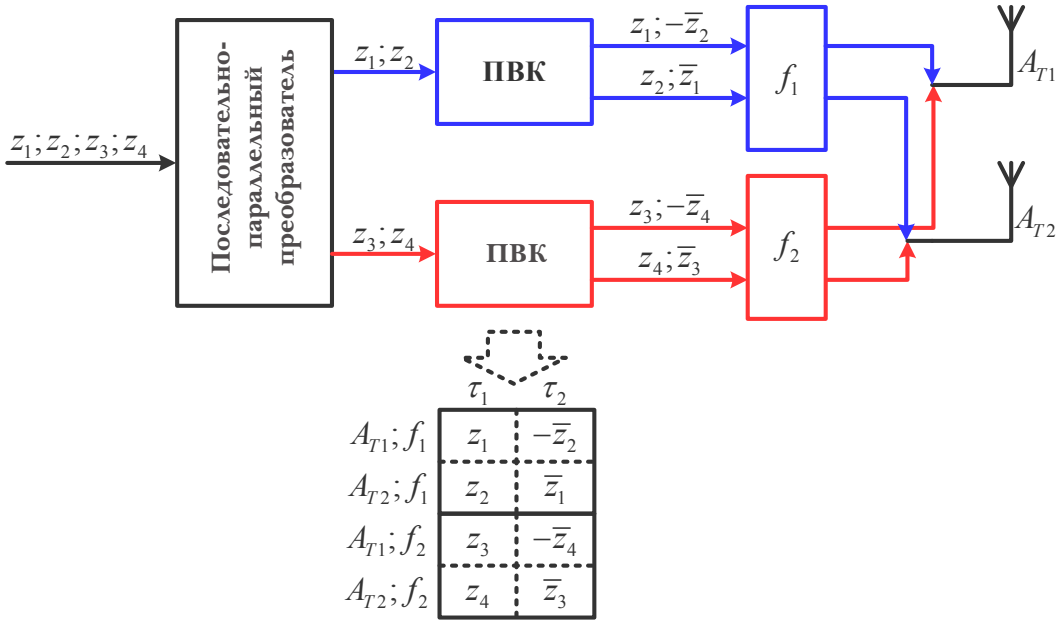


Рис. 4. Обобщенная схема реализации двухчастотного MIMO радиоканала с сокращенным числом антенн

Пусть имеется две рабочие частоты f_1 и f_2 такие, что замирания сигналов при работе на них некоррелированные. Тогда, добавляя перед пространственно-временным кодером последовательно-параллельный преобразователь (*рисунок 3*), из последовательно поступающих четырех информационных символов формируется два параллельных потока следующим образом:

$$z_1; z_2; z_3; z_4 \Rightarrow \begin{matrix} z_1; z_2 \\ z_3; z_4 \end{matrix}.$$

С выхода последовательно-параллельного преобразователя каждая пара комплексных информационных символов поступает на свой пространственно-временной кодер, реализующий код Аламоути по схеме *рисунка 1*. Выходы пространственно-временных кодеров поступают на четыре антенны, функционирующие попарно. Тогда на первую пару антенн, работающих на частоте f_1, подается следующая матрица:

$$G_2 = \begin{matrix} & \tau_1 & \tau_2 \\ A_1 & z_1 & -\overline{z_2} \\ A_2 & z_2 & \overline{z_1} \end{matrix},$$

а на вторую пару антенн, работающих на частоте f_2, подается матрица:

$$G_2 = \begin{matrix} & \tau_1 & \tau_2 \\ A_3 & z_3 & -\overline{z_4} \\ A_4 & z_4 & \overline{z_3} \end{matrix}.$$

При условии ортогональности частот f_1 и f_2, первая и вторая матрицы могут быть переданы без взаимного влияния через одну пару антенн (*рисунок 4*).

Тогда положительным эффектом от применения предложенной схемы является:

1) сокращение числа тактовых интервалов для передачи 4-х символов с 8 для кода G_4 (2) до 2, при условии сохранения максимального разноса передачи (2 по антеннам и 2 по частоте), что равнозначно увеличению пропускной способности общего многочастотного MIMO радиоканала в 4 раза для представленного примера;

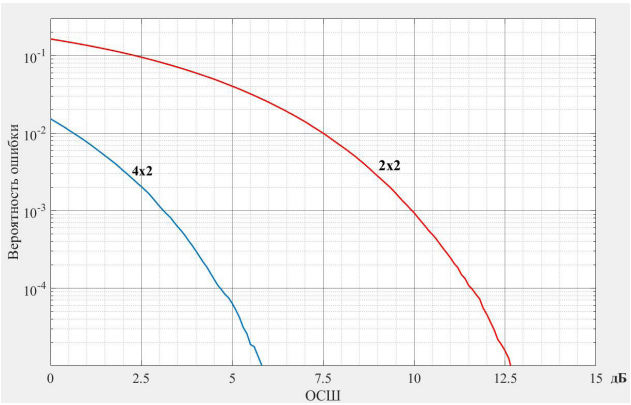


Рис. 5. Помехоустойчивость вариантов MIMO 4x2 и 2x2

2) ортогональность частот f_1 и f_2 позволяет заменить 4 передающие антенны на 2, так как осуществлена замена пространственного разноса на частотный, что позволяет решать в ДКМВ важную задачу по сокращению в два раза площади антенной системы.

Аналогичным образом можно организовать замену многократным частотным разносом общее число передающих антенн четной кратности:

- для N_R=6 использовать замену на N_R=2 с использованием трех частот (выигрыш по пропускной способности 6 раз – вместо передачи 6 символов за 12 тактов на одной частоте, осуществляется передача 6 символов за 2 такта на трех частотах);
- для N_R=8 использовать замену на N_R=2 с использованием 4 частот (выигрыш по пропускной способности 8 раз – вместо передачи 8 символов за 16 тактов на одной частоте, осуществляется передача 8 символов за 2 такта на четырех частотах) и т.д.

Вместе с тем необходимо оценить, как влияет изменение схемы на ее помехоустойчивость. Так, на *рисунке 5*, представлено сравнение помехоустойчивости для классических схем MIMO для вариантов 4x2 и 2x2. Из графиков следует, что схема 2x2 проигрывает схеме 4x2 около 7 дБ на уровне вероятности ошибки 10^{-3}. Однако такое сравнение не является адекватным по причине наличия дополнительного разноса по частоте и параллельной передаче по двум ветвям 2x2. При этом в настоящее время отсутствует научно-методический аппарат оценки помехоустойчивости для многочастотного варианта реализации MIMO, что требует дальнейшего исследования.

Известно [4,13], что алгоритмы приема в MIMO радиоканалах основаны на допущении о точно известной матрице канала на приемной стороне. Реализация многочастотного варианта MIMO также потребует решения вопроса определения такой матрицы. Очевидно, что методы оценки канала в таком случае отличаются от известных и в настоящее время отсутствуют.

Системы связи специального назначения должны выполнять свои функции в условиях сложной помеховой обстановки, что обуславливает наличие требований по помехозащищенности радиоканалов. Согласно [16] показателем помехозащищенности является соответствующая вероятность, которая зависит от вероятностей обнаружения излучения и определения параметров передаваемого сигнала за заданный временной интервал. Таким образом, важным является вопрос оценки скрытности радиоканала. Отметим, что необходимо обеспечивать скрыт-

ность энергетическую, структурную, пространственную и временную. Тогда можно предположить, что применение многочастотного MIMO в ДКМВ радиоканале отразится положительно на показателях скрытности и помехозащищенности за счет уменьшения времени излучения и, следовательно, снижения вероятности его обнаружения и определения параметров передаваемого сигнала. Это, в свою очередь, требует разработки моделей и методов оценки влияния предложенных схем на скрытность и помехозащищенность, одним из которых может стать реализация возможности программной перестройки рабочей частоты.

Таким образом, рассмотрен вопрос реализации MIMO технологии в ДКМВ диапазоне на множестве частот, а также определены актуальные задачи исследования в данном направлении, в число которых входит выбор множества частот, оценка матрицы канала, оценка помехоустойчивости, скрытности и помехозащищенности с учетом наличия частотного разноса.

Литература

1. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. Учебник для вузов. М.: Связь, 1972. 336 с.
2. Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн: учебник для вузов связи / Е.Л. Черенкова, О.В. Чернышев. М.: Радио и связь, 1984. 272 с., ил.
3. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. Под ред. проф. О.В. Головина. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 598 с.
4. Бакулин М.Г. Технология MIMO: принципы и алгоритмы / М.Г. Бакулин, Л.А. Варукина, В.Б. Крейнделин. М.: Горячая линия-Телеком, 2014. 244 с.
5. Бакулин М.Г. Технология в системах радиосвязи на пути к 5G / М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, Д.Ю. Панкратов. М.: Горячая линия-Телеком, 2018. 280 с.
6. Андронов И.С. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам / И.С. Андронов, Л.М. Финк. М.: Советское радио, 1971. 408 с.
7. Бузов А.Л., Сухарев А.С. Вопросы создания универсальных быстроразворачиваемых комплексов технических средств ДКМВ радиосвязи // Вестник СОНИИР, 2006. №2(12). С.12.
8. Букашкин С.А. Перспективы создания комплексов ДКМВ радиосвязи, использующих технологии MIMO с пространственным и поляризационным разнесением / С.А. Букашкин, А.В. Оглоблин // Цифровая обработка сигналов, 2014. №4. С.28-31.
9. Бузов А.Л. Исследования триортогональных антенных элементов ДКМВ диапазона для систем радиосвязи, использующих технологию MIMO / А.Л. Бузов, А.Д. Красильников, А.В. Оглоблин // Радиотехника, 2015. №4.С.18-22.
10. Пашинцев В.П. Уточненный метод определения интервала пространственной корреляции замираний в однолучевой декаметровой радиолинии / В.П. Пашинцев, С.А. Коваль, Д.А. Потягов, А.Д. Скорик, М.А. Сенокосов // Журнал радиоэлектроники, 2021. № 2.
11. GPS monitoring of small-scale fluctuations of total electron content of ionosphere Pashintsev V.P., Linets G.I., Slyusarev G.V., Peskov M.V., Melnikov S.V. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology, 2020. Т.11. №5. С. 341-352.
12. Методика выделения мелкомасштабных вариации полного электронного содержания ионосферы по данным трансионосферного зондирования / Пашинцев В.П., Песков М.В., Смирнов В.М., Смирнова Е.В., Тынянкин С.И. // Радиотехника и электроника, 2017. Т.62. №12. С.1182-1189.
13. Шлома А.М. Новые алгоритмы формирования и обработки сигналов в системах подвижной связи / А.М. Шлома, М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А.П. Шумов. М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 344 с.
14. Носов В.И. Исследование пространственно-временнооой корреляционной модели для радиосистем с разносом передачи / А.С. Янцен, В.И. Носов // Вестник СибГУТИ, 2012. №4. С.31-49.
15. Tarokh V., Scshadri N., Calderbank A.R. Space-Time Codes for High Data Rate Wireless Communication: Performance Criterion and Code Construction. IEEE Transactions on Information Theory, vol. 44. Pp.744-765. March 1998.
16. Борисов В.И. Пространственные и вероятностно-временные характеристики эффективности станций ответных помех при подавлении систем радиосвязи / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, А.В. Немчилов, А.А. Чаплыгин. Под. Ред. член-кор. РАН В.И. Борисова. Воронеж: ОАО «Концерн «Созвездие», 2007. 354 с.

УДК 654.16

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ РАДИОСЕТИ СОЕДИНЕНИЯ РВСН СПУТНИКОВЫМИ КАНАЛАМИ В УСЛОВИЯХ РЭП

MATHEMATICAL MODEL OF REDUNDANCY OF DIRECTIONS OF THE INFORMATION RADIO NETWORK OF THE STRATEGIC MISSILE FORCES CONNECTION BY SATELLITE CHANNELS IN THE CONDITIONS OF EC

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
ведущий научный сотрудник
АНО «Институт инженерной физики».
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (985) 141-79-09
E-mail: tsimbalva@mail.ru

Дмитрий Александрович Караев
начальник связи –
заместитель начальника штаба РВСН по связи
соискатель филиала ВА РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 119160, Москва, К-160
Тел.: 8 (985) 722-21-13
E-mail: karaew@mail.ru

Аннотация:
Рассматривается и моделируется процесс резервирования каналов информационной радиосети соединения РВСН каналами спутниковой связи в виде системы массового обслуживания при конечном числе источников запросов на обслуживание. Результаты моделирования получены в аналитическом виде.
Ключевые слова: соединение РВСН, информационная радиосеть, радиоэлектронное подавление, резервирование каналов, система массового обслуживания.

Summary
Process of reservation of channels of information radio network of connection of Strategic Missile Forces by channels of satellite communication in the form of the system of mass service at final number of sources of requests for service is considered and modelled. Results of modeling are received in an analytical look.
Keywords: connection of Strategic Missile Forces, information radio network, radio-electronic suppression, reservation of channels, system of mass service.

РВСН являются ведущей компонентой в составе стратегических ядерных сил Российской Федерации. Высокая боевая готовность РВСН определяется как высокой боевой готовностью ракетных комплексов, так и высокой боевой готовностью их системы боевого управления и связи [1,2].

Спецификой выполнения задач по предназначению соединением подвижных грунтовых ракетных комплексов (ПГРК) является его функционирование на полевых позициях (ПП). В этом случае штатная информационная радиосеть (ИРС) соединения ПГРК строится на основе радиоканалов, создаваемых с использованием соответствующих приемо-передающих комплексов (ППК) [1]. Данная ИРС представляет собой радиально-узловую структуру, повторяющую структуру системы боевого управления, созданную на основе иерархии соответствующих звеньев управления (ЗУ) (*рисунок 1*). Именно эта ИРС обеспечивает оперативное и достоверное доведение боевых приказов на пуски ракет «сверху-вниз» между ЗУ иерархически смежных рангов по тракту боевого управления [1,2].

Основу ИРС на каждом уровне иерархии составляют комбинированные радиосети (КРС), в которых связь «сверху-вниз» реализуется в общей радиосети, а связь «снизу-вверх» реализуется в радионаправлениях (НС). Такие КРС представляют собой базовые сегменты ИРС, создаваемые ППК.

В ходе выполнения соединением ПГРК боевых задач в военное время каналы ИРС будут испытывать радиоэлектронное подавление (РЭП) вероятного противника забрасываемыми передатчиками помех (ЗПП), доставляемыми,

например, совокупностью беспилотных летательных аппаратов (БЛА), что будет приводить к поражению отдельных направлений связи ИРС [3-5]. В этом случае сохранение связности штатной ИРС требует реализации процесса резервирования пораженных ее каналов связи [6,7].

Резервирование пораженных направлений ИРС осуществляется каналами специальной системы спутниковой связи (ССС), работающей в автоматическом режиме предоставления каналов по требованию (ПКТ) [8,9].

Одной из важных задач применения специальной ССС является задача планирования распределения ее канального ресурса в мирное и военное время между совокупностью абонентов [8,9], и для этого необходимо знать потребности в этом ресурсе. Здесь рассматривается постановка решения данной задачи.

Рассматривается ИРС соединения ПГРК на ПП, штатные направления (каналы) связи которой поражаются средствами РЭП вероятного противника [3], при этом резервирование пораженных каналов ИРС осуществляется каналами специальной ССС, работающей в режиме ПКТ. В свою очередь, ППК базовой сети с пораженными направлениями осуществляют отстройку своих каналов от помех внутренними механизмами и после отстройки возвращают обратно задействованные каналы специальной ССС. Все это обеспечивает поддержание функциональной готовности ИРС соединения ПГРК.

Из изложенного становится ясно, что число потребных (занятых) спутниковых каналов в соединении ПГРК для резервирования равно числу пораженных каналов ИРС, создаваемых ППК. Тогда математически научная задача нахождения потребностей в каналах специальной ССС в интересах ИРС соединения ПГРК формулируется так: найти минимально потребное число каналов специальной ССС для резервирования пораженных каналов ИРС.

Однако количество пораженных каналов рассматриваемой ИРС является случайной величиной, поэтому данная задача должна решаться методами теории вероятностей.

Коммуникационный ресурс специальной ССС рассматривается как совокупность N каналов, на которые воздействует поток занятия каналов с интенсивностью λ (вызванный потоком поражения каналов ИРС) и поток освобождения каналов с интенсивностью μ (вызванный потоком отстройки каналов ИРС от помех внутренними механизмами ППК) (*рисунок 2*).

Динамика занятия-освобождения каналов специальной ССС моделируется как система массового обслуживания (СМО), граф состояний и переходов которой представлен на *рисунке 3*, причем переходы вправо соответствуют занятию, а переходы влево освобождению каналов. Отметим, что интенсивности переходов вправо и влево на графе обратно симметричные и являются кусочно-пуассоновскими (энгсетовскими),

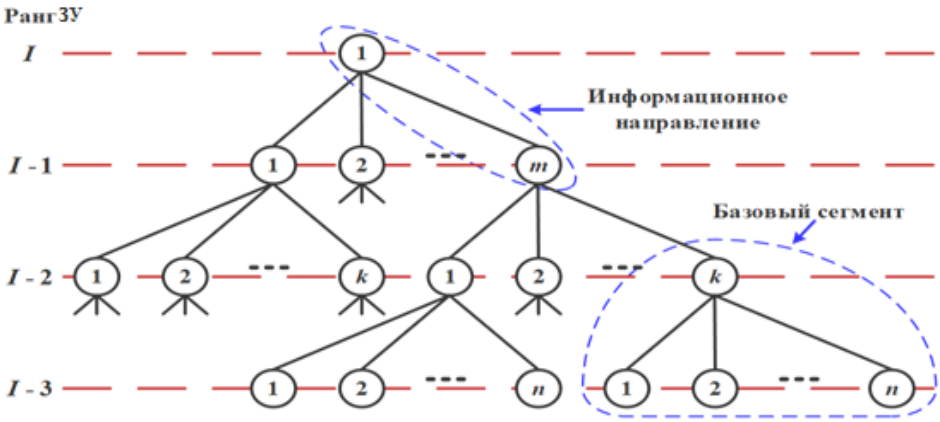


Рис. 1. Информационная радиосеть соединения ПГРК с радиально-узловой структурой (вариант фрагмента)

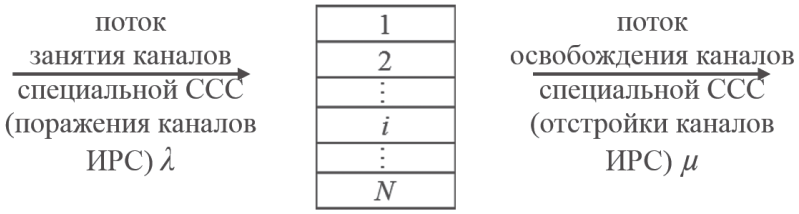


Рис. 2. Коммуникационный ресурс специальной ССС как СМО с резервированием радиоканалов ИРС соединения ПГРК

что обусловлено конечным числом каналов рассматриваемой ИРС [7]. При этом используется следующее допущение: потоки занятия и освобождения каналов специальной ССС простейшие. Также отметим, что время, затрачиваемое на занятие и освобождение спутниковых каналов в процедуре резервирования не учитывается.

Нас интересует математическое ожидание числа занятых каналов специальной ССС, равное числу пораженных каналов связи ИРС, а также их среднее квадратическое отклонение (СКО). Данные величины можно найти, зная вероятности всех состояний СМО в установившемся режиме работы.

Для нахождения вероятности всех состояний графа (*рисунок 3*) была составлена система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

$$\begin{cases} \mu_1 P_1 - \lambda_0 P_0 = 0, \\ \lambda_0 P_0 + \mu_2 P_2 - \mu_1 P_1 - \lambda_1 P_1 = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \lambda_{i-1} P_{i-1} + \mu_{i+1} P_{i+1} - \mu_i P_i - \lambda_i P_i = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \lambda_{N-1} P_{N-1} - \mu_N P_N = 0; \end{cases} \quad (1)$$

При этом учитывалось нормирующее условие

$$\sum_{i=1}^{N} P_i = 1. \quad (2)$$

Решение СЛАУ для установившегося режима было получено в аналитическом виде методом подстановки, и вероятности всех состояний СМО имеют вид

$$P_i = \frac{C_N^i \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i}{\left(1+\frac{\lambda}{\mu}\right)^N}; \quad (3)$$

Математическое ожидание числа занятых каналов имеет вид

$$\overline{N} = \sum_{i=1}^{N} i P_i = \frac{N\frac{\lambda}{\mu}}{1+\frac{\lambda}{\mu}}; \quad (4)$$

Дисперсия числа занятых каналов имеет вид

$$D_N = \sum_{i=1}^{N} \left[i - \overline{N} \right]^2 P_i = \frac{N\frac{\lambda}{\mu}}{\left(1+\frac{\lambda}{\mu}\right)^2}; \quad (5)$$

Полученные выражения позволяют оценить потребности ИРС соединения ПГРК на ПП в числе каналов специальной ССС, нужных для резервирования подавленных РЭП каналов штатной ИРС.

Литература

1. Ряжских А.А. Оглянись назад и посмотри вперед. Записки военного инженера. В 2-х книгах. М.: Вагриус, 2004.
2. Матвиенко Ю.А. Направления развития автоматизированных систем управления военного назначения на основе принципа сбалансированности // Военная мысль, 2020. № 2. С.81-88.
3. Сахнин А.А. Комплексная оценка радиоэлектронной защищенности военных систем связи: Монография. М.: Радиотехника, 2022. 312 с.
4. Научно-методический аппарат оценки устойчивости систем связи воинских формирований. Часть 3. Методы, алгоритмы и программы прогнозирования состояний системы связи после воздействия противника: монография / Е.Н. Хохлачев, В.И. Филатов. Под ред. Михолапа Л.А. Балашиха: ВА РВСН им. Петра Великого, 2020. 206 с.
5. Макаренко С.И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности, 2017. №2. С.113-164. URL: http:// sccs.intelgr.com/ archive/ 2017-02/ 05-Makarenko.pdf.
6. Реджепов И.В. Анализ связности радиосетей метрового диапазона автоматизированных систем управления подвижными объектами общего назначения // Сб. трудов XXIV Международной научно-технической конференции (17-19 апреля 2018 г.). Т.2. Воронеж: Вэлборн, 2018. С.63-69.
7. Цимбал В.А. Качество информационного обмена в сетях передачи данных. Марковский подход. Монография. М: Вузовская книга, 2014. 144 с.
8. Лапшин В.Ю. Планирование применения средств систем спутниковой связи /В.Ю. Лапшин, Д.А. Ковальков // Известия Института инженерной физики, 2010. №1(15). С.38-41.
9. Новиков Е.А. Оценка своевременности связи при передаче мультисервисного трафика в сети спутниковой связи специального назначения / Е.А. Новиков, Д.Р. Уткин, А.Г. Шадрин, М.Н. Квасов // Системы управления, связи и безопасности, 2018. №1. С.136-155.

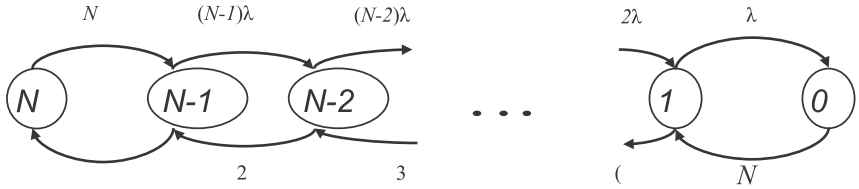


Рис. 3. Граф СМО, описывающей процесс занятия-освобождения каналов специальной ССС

УДК 621.396

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СПУТНИКОВОГО СТЕГОКАНАЛА В СРЕДЕ ПЕРЕДАЧИ С ПОТЕРЯМИ

THE SIMULATION MODEL OF A SATELLITE STEGOCHANNEL IN TRANSMISSION ENVIRONMENT WITH ERRORS

Кирилл Юрьевич Цветков
доктор технических наук профессор
профессор кафедры
Сетей и систем связи космических комплексов
ВКА им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: 8 (911) 947-19-58
E-mail: wavelet3@yandex.ru

Анатолий Александрович Ерунов
кандидат технических наук
преподаватель кафедры
Сетей и систем связи космических комплексов
ВКА им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: 8 (911) 289-22-05

Денис Владимирович Леванов
адъюнкт кафедры
Сетей и систем связи космических комплексов
ВКА им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
Ждановская наб., д. 13
Тел.: 8 (931) 244-93-24

Аннотация:
В статье представлены результаты оценивания помехоустойчивости скрываемых данных в канале связи с помехами и получены критические значения ошибок в открытом канале, при которых скрываемые данные разрушаются. Для учета возникающих ошибок и сохранения скрываемых данных была разработана имитационная модель спутникового стегоканала на основе адаптивного кодового уплотнения скрываемых данных в видеопотоке спутникового канала DVB-S2. Данная модель позволяет выбрать параметры кодирования и определить допустимую скорость передачи данных для одного телевизионного канала в котором организована скрытая передача данных.
Ключевые слова: цифровая стеганография, скрытые каналы, канал связи с помехами.

Summary
The article presents the results of assessing the noise immunity of the hidden data in the interference communication channel and critical error values in the open channel are obtained, at which the hidden data is destroyed. A simulation model of satellite stegochannel based on adaptive codec multiplexing of hidden data in the video stream of DVB-S2 satellite channel was developed to account for the arising errors and to preserve the hidden data. This model allows selecting the coding parameters and determining the allowable data transmission rate for one TV channel in which the covert data transmission is organized.
Keywords: digital steganography, hidden channels, channel with interference.

В настоящее время с развитием инфокоммуникационных технологий появляется огромное количество потребителей, нуждающихся в предоставлении услуг безопасной, надежной и защищенной связи. Частные компании и ведомственные организации в реальном масштабе времени вынуждены обмениваться большими объемами конфиденциальной информации, утрата которых может повлечь не только экономический ущерб, но и разглашение коммерческой тайны. Помимо использования криптографических методов защиты информации весьма популярными становятся методы цифровой стеганографии, которые позволяют скрыть сам факт наличия какого-либо канала связи.

Суть цифровой стеганографии сводится к внесению незаметных искажений в какой-то объект (контейнер), представленный в цифровом виде, таким образом, чтобы наличие этих искажений не нарушало целостности файла, его статистических свойств и качества для восприятия конечным пользователем. При анализе большинства источников, посвященных цифровой стеганографии [1-3], при построении скрытых каналов рассматривается противоречия между скрытой пропускной способностью $C_{стег}$, скрытностью встраивания U и достоверностью приема $P_{ош}$ (*рисунок 1*).

Скрытая пропускная способность $C_{стег}$ ограничивается допустимыми искажениями, при которых выполняется требование к скрытности встраивания $U_{треб}$. Поскольку, во время встраивания и извлечения данных над ними проводятся различные преобразования в том числе и операции с потерями, требуемый уровень достоверности $P_{треб}$ достигается использованием помехоустойчивого кодирования до этапа встраивания. Оно приводит к снижению скрытой пропускной способности $C_{стег}$.

Большинство известных методов стеганографии, рассмотренных в работе [3] подразумевают передачу контейнера от отправителя к получателю без изменения, а вопрос воздействия помех на открытый канал связи, по которому передается контейнер, не учитывается и выносится в качестве ограничений проводимых исследований.

Используемый при организации скрытого канала способ встраивания данных в видеопоток подробно описан в работах [4-6] и заключается в адаптивном встраивании в спектральную область выбранного базиса ортогонального преобразования (ОртП) яркости видео-контейнера предварительно сформированной двумерной шумоподобной сигнальной конструкции (ДШСК) соответствующей базису ОртП.

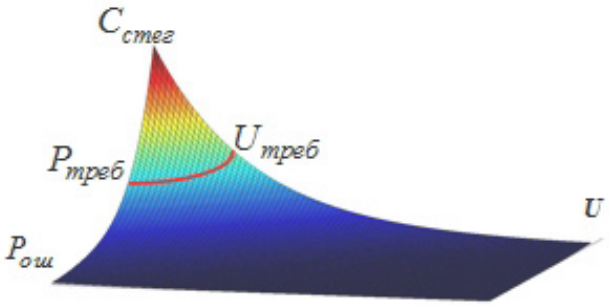


Рис. 1. Основное противоречие в стеганографии

В [6] при рассмотрении способа скрытой передачи данных с адаптивным кодовым уплотнением впервые провели оценивание помехоустойчивости скрываемых данных в канале связи с помехами. С точки зрения универсальности рассмотрения возможных способов передачи и каналов связи по которым передается контейнер более важным является зависимость вероятности ошибки на бит скрываемых данных от вероятности ошибки на бит в основном канале связи, представленные на *рисунке 2*.

Представленные результаты свидетельствуют о нарушении качества видео-контейнера в канале связи с вероятностью ошибки на бит менее 10^{-6} и изображения-контейнера в канале связи с вероятностью ошибки на бит менее 10^{-5}. При этом ухудшение достоверности приема в канале открытой связи на 1 порядок приводят к нарушению скрываемых данных, а при ухудшении достоверности приема в канале открытой связи на 2 порядка и более к невозможности открытия контейнера и, как следствие, полной потере скрываемых данных.

В современных системах связи передача сообщений в канале связи с помехами решается за счет наличия обратного канала и своевременного изменения параметров помехоустойчивого кодирования, которое приводит к снижению скорости передачи данных. При снижении скорости передачи либо возрастает время доставки

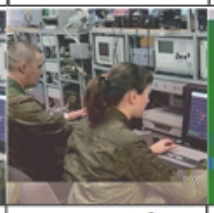
$P_{ош}$ в канале связи	~ 10^{-6}	~10^{-5}	~2×10^{-5}	~10^{-4}	~2×10^{-4}
Изображение-контейнер					Файл не открывается
$P_{ош}$ скр. данных	~2×10^{-5}	~4×10^{-4}	~2×10^{-3}	~0.4	-
Видео-контйенер				Файл не открывается	Файл не открывается
$P_{ош}$ скр. данных	~2×10^{-4}	~3×10^{-3}	~0.4	-	-

Рис. 2. Оценивание помехоустойчивости скрываемых данных в канале связи с помехами

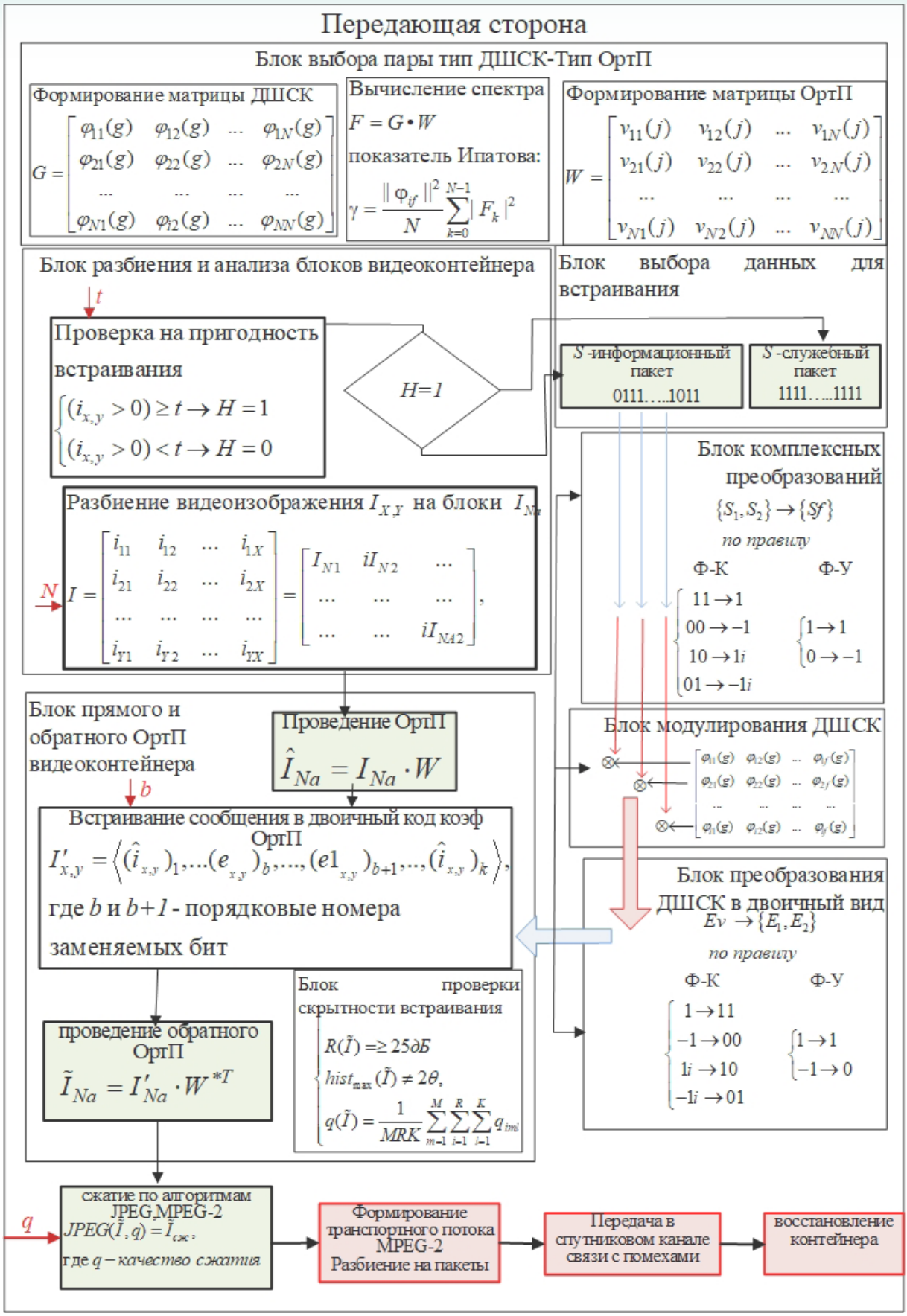


Рис. 3. Модель спутникового стегоканала в среде передачи с потерями

сообщения, либо ухудшается его качество. Для трафика реального времени, к которому относится видеоданные, это приводит к изменению режима работы видеокодека и формированию видеопотока с худшим качеством (увеличение сжатия или изменение разрешения). В ходе этих операций часть скрываемых данных также будет потеряна.

Для учета ошибок в открытом канале связи и согласования работы стегокодера в условиях помех была разработана имитационная модель спутникового стегоканала на основе адаптивного кодового уплотнения [4-6] скрываемых данных в видеопотоке спутникового канала DVB-S2, представленная на *рисунке 3*.

Программная реализация данного способа является аналогом видеокодека, реализующего преобразование несжатого видеопотока в формат видео MPEG2 или AVI с ограничением по качеству сжатия не более в 80 раз. В случае использования картинки в качестве контейнера максимальное сжатие не превышает в 10-12 раз. Далее заполненный видео-контейнер преобразуется транспортный поток MPEG-2 с последующим побитным разделением.

Для оценивания ошибок в спутниковом канале связи используется встроенная имитационная модель DVB-S2 SimuLink MathLab. В качестве входных параметров задаются отношение сигнал шум и тип кодирования (вида модуляции и скорости кодирования). Выходных параметрами являются вероятность ошибки на бит $P_{ош}$ и вероятность потери пакета $P_{пот}$. Пример работы модели изображен на *рисунке 4*.

Исходя из требований к каналу связи для передачи видеотрафика (вероятность ошибки на бит $P_{ош}$ не хуже 10^{-6} и вероятность потери пакета $P_{пот}$ не хуже 10^{-3}) с помощью указанной модели была получена оценка эффективности использования спектра в зависимости от отношения сигнал шум в канале связи (*рисунок 5*).

Эффективность использования спектра легко может быть пересчитана для спутникового телевизионного канала с полосой пропускания 8 МГц в скорость передачи), которая определяет допустимое качество передаваемого видеопотока. *(рисунок 6)*.

Качество видеопотока, а именно используемое разрешение кадра определяет емкость видео-контейнера (потенциальное количество

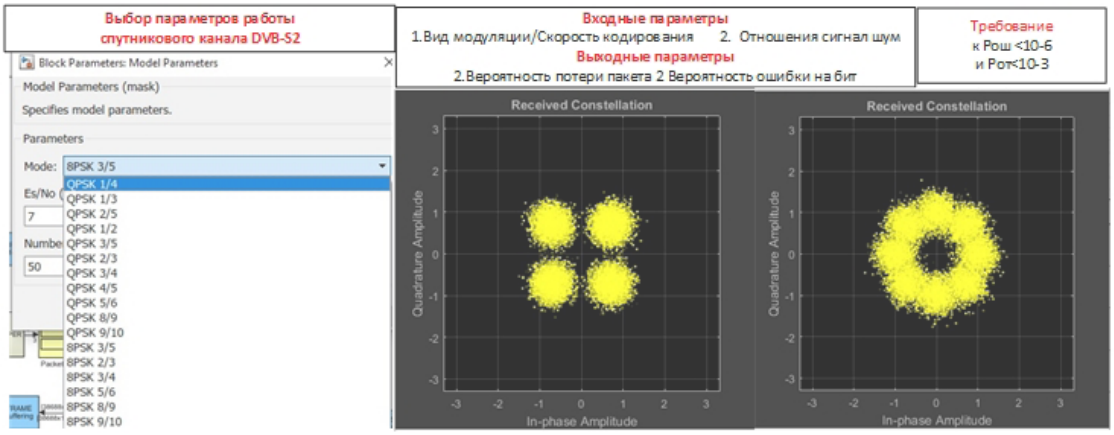


Рис. 4. Пример испытания имитационной модели DVB-S2

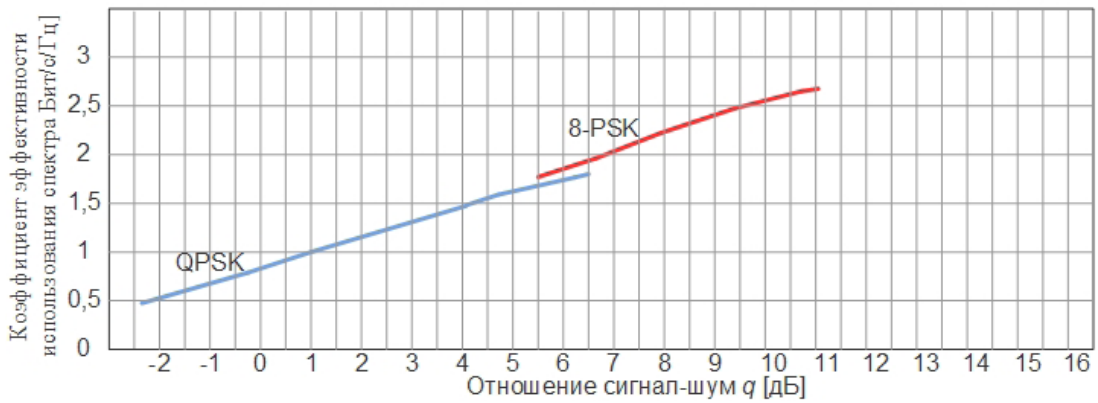


Рис. 5. Эффективность использования спектра в зависимости от отношения сигнал шум в канале связи

бит информации, которые можно встроить в контейнер). Как следствие ухудшение качества видеопотока ведет к разрушению встроенной информации. С целью сохранения скрываемой информации необходимо изменять качество видео-контейнера в процессе его формирования, а не изменять разрешение уже заполненного видео-контейнера. Данный подход приведет к скачкообразному изменению скорости передачи в стегоканале, однако позволит сохранить скрытый информационный обмен в условиях потерь в открытом канале связи.

Таким образом, разработана новая имитационная модель спутникового стегоканала, которая впервые учитывает потери в открытом канале связи. Ее применение позволило оценить критические значения ошибок в открытом канале связи, при которых встроенная информация разрушается, а также сформировать требования к отрытому каналу связи для определения скорости передачи и качества передаваемого видеопотока в зависимости от отношения сигнал шум в канале телевизионного вещания. Кроме того, полученные результаты влияния ошибок в открытом канале связи на видео-контейнер могут быть использованы и для построения скрытого канала другими методами цифровой стеганографии.

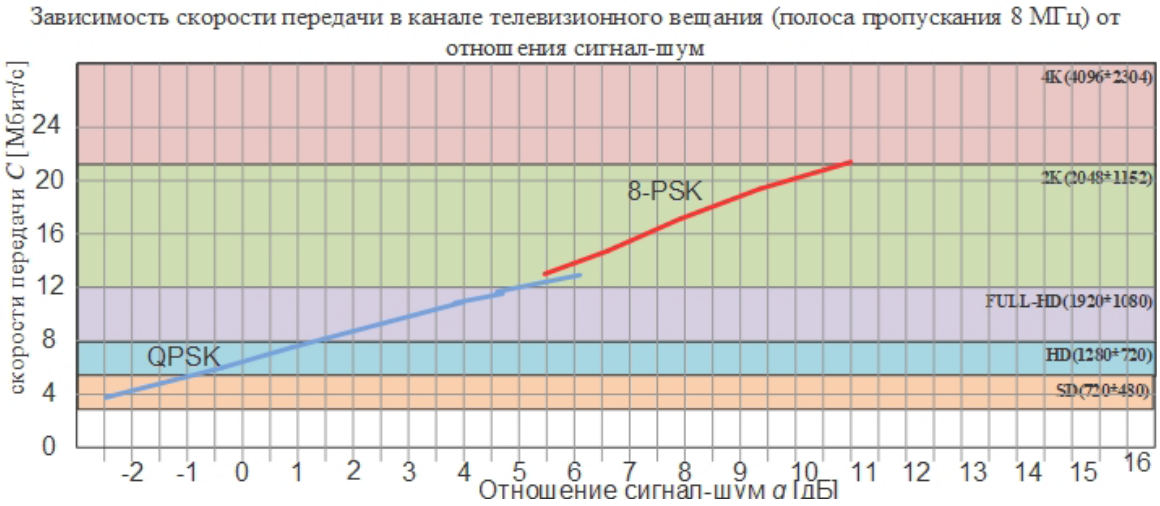


Рис. 6. Определение скорости передачи и качества передаваемого видеопотока в зависимости от отношения сигнал шум в канале телевизионного вещания

Литература

1. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс, 2002. 272 с.

2. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. Киев: МК-Пресс, 2006. 283 с.

3. Абазина Е.С., Ерунов А.А. Сравнительный анализ и классификация методов цифровой и компьютерной стеганографии и перспективные направления ее развития. Труды ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. Вып. 655. С.5-16.

4. Ерунов А.А., Коровин В.М., Гончаров А.В. Модель скрытого канала передачи информации с адаптивным кодовым уплотнением в видеопотоке // Системы управления связи и безопасности, 2018. №2. С.1-17.

5. Абазина Е.С., Ерунов А.А. Коровин В.М. Вычислительная сложность алгоритмов формирования стегоканала с кодовым уплотнением в видеопотоке. Труды ВКА им. А.Ф. Можайского, 2018. Вып. 665. С.35-44.

6. Цветков К.Ю. Ерунов А.А., Леванов Д.В. Формирование ключевой информации для организации скрытого канала с адаптивным кодовым уплотнением // Известия Института инженерной физики, 2021. №4(62). С.20-27.

УДК 621.398.8

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАЙСОВСКОГО РАДИОКАНАЛА МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

STATISTICAL QUALITY ASSESSMENT RICE RADIO CHANNEL OF METER BAND

Владимир Владимирович Зеленевский
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (905) 548-48-54
E-mail: Zelenevsky.Vladimir@gmail.com

Александр Владимирович Попов
адъюнкт кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 72-19-11

Юрий Владимирович Зеленевский
доктор технических наук, доцент
научный сотрудник
ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл.,
г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: +7 (903) 721-12-61
E-mail: sys1434@mail.ru

Андрей Борисович Наконечный
аспирант
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес:142210, Московская обл.,
г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93

Аннотация:
Получено новое аналитическое выражение для оценки надежности райсовского радиоканала по помехоустойчивости, которое учитывает плотность распределения вероятностей энергии сигнала и позволяет определить оптимальное значение отношения сигнал/шум, при котором обеспечивается максимальное качество радиоканала.

Ключевые слова: интерференционные максимумы и минимумы, многолучевость, плотность распределения вероятностей, закон Райса, надежность радиоканала, помехоустойчивость, качество радиоканала, функция Бесселя, оптимальное отношение сигнал/шум.

Summary
A new analytical expression is obtained for assessing the reliability of the Rician radio channel in terms of noise immunity, which takes into account the probability density of the signal energy and allows you to determine the optimal value of the signal-to-noise ratio, which ensures the maximum quality of the radio channel.

Keywords: interference maxima and minima, multipath, probability distribution density, Rice's law, radio channel reliability, noise immunity, radio channel quality, Bessel function, optimal signal-to-noise ratio.

Известно [1], что распространение радиоволн метрового диапазона (длина волны $1м<\lambda<10м$) в условиях многочисленных отражений от неподвижных и подвижных препятствий сопровождается сложными интерференционными процессами. Интерференционные максимумы и минимумы напряженности электрического поля находятся в пределах десятков сантиметров ($\sim 0{,}25\lambda$) и напряженность электрического поля является случайной величиной. В этом случае прием сигнала характеризуется последовательным сложением нескольких копий одного и того же сигнала, задержанных на определенные интервалы времени. Амплитуда и фаза принимаемых копий сигнала изменяются во времени и зависят от состояния радиоканала в каждый момент времени. Многолучевость канала метрового диапазона характеризуется основной и некоторым количеством дополнительных копий сигнала. Дополнительные копии сигнала значительно меньше по амплитуде по отношению к основной.

Известно [2], что плотность распределения вероятностей мгновенных значений битовых отношений сигнал/шум h^2_0 в многолучевом канале метрового диапазона подчиняется закону Райса:

$$\omega(h_0^2) = h_0^2 e^{-\left(h_{med}^2 + h_0^2\right)} \cdot I_0\left(2\sqrt{h_{med}^2 h_0^2}\right), \quad (1)$$

где h^2_{med} – медианное битовое отношение сигнал/шум, которое определяется мощностью радиопередатчика, дальностью радиосвязи, длиной волны, параметрами передающей и приемной антенн;
$I_0(\cdot)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Выражение (1) в общем случае позволяет оценить надежность радиоканала $P_н$, равную

$$P_i = \int_{h^2_{\min}}^{\infty} \omega(h_0^2)dh_0^2, \qquad (2)$$

однако при $h^2_{med}>15$ в программной среде Mathcad его использовать невозможно из-за больших значений функции $I_0(\cdot)$.

В то же время установлено [1], что при превышении амплитуды сигнала основного луча в 4 раза и больше над дополнительными лучами распределение вероятностей амплитуды суммарного принимаемого сигнала $\omega(U)$, соответствующее закону Райса, может быть заменено распределением Гаусса с тем же самым медианным значением $U_{med}=\sqrt{h^2_{med}}$:

$$\omega(U)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left[-\frac{\left(U-U^2_{med}\right)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где σ – дисперсия распределения.

Так как энергия принимаемого сигнала пропорциональна квадрату амплитуды сигнала, то плотность распределения вероятностей квадрата амплитуды (энергии) сигнала определим по формуле:

$$\omega(E)=\frac{\omega(U)}{\frac{dE(U)}{dU}}=\frac{\omega(U)}{\frac{dU^2}{dU}}=\frac{\omega(U)}{2U}.$$

Зная $\omega(U)$, получим

$$\omega(E)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(U-U_{\text{med}})^2}{2\sigma^2}\right]\frac{1}{2U}=$$

$$=\frac{1}{2\sqrt{2\pi\sigma^2U^2}}\exp\left[-\frac{(\sqrt{U^2}-\sqrt{U^2_{med}})^2}{2\sigma^2}\right]=$$

$$=\frac{1}{2\sigma\sqrt{2\pi E}}\exp\left[-\frac{(\sqrt{E}-\sqrt{E_{med}})^2}{2\sigma^2}\right],$$

где E – мгновенное значение энергии сигнала на входе приемника;

E_{med} – медианное значение энергии сигнала, которое существует с вероятностью, равной 0,5.

Вероятность того, что величина энергии принимаемого сигнала превысит некоторый уровень $E_{min}\equiv h^2_{\min}$, определим по выражению:

$$P_i(E)=\int_{E_{\min}}^{\infty}\omega(E)dE=\frac{1}{2\sqrt{\pi}}\int_{h^2_{\min}}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{h_0^2}}\cdot\exp\left[-\left(\sqrt{h_0^2}-\sqrt{h^2_{med}}\right)^2\right]dh_0^2,$$

которое определяет надежность канала по помехоустойчивости, где $h^2_{\min}$ – минимальное отношение сигнал/шум на входе первой решающей схемы приемника, которое будет определять надежность райсовского канала и его помехоустойчивость при фиксированном медианном отношении сигнал/шум

$$h^2_{med}=\frac{U^2_{med}}{2\sigma^2}.$$

Наличие противоречия между надежностью райсовского канала передачи данных $P_н(E)$ и его помехоустойчивостью (вероятностью битовой ошибки P_b) покажем на примере сигнала с относительной фазовой манипуляцией, для которого вероятность P_b определяется известным выражением [3]:

$$P_b=\frac{1}{2}e^{-h^2_{\min}}.$$

Так как требуется получить максимальное качество райсовского радиоканала $P_к=P_н(1\text{-}P_b)$ или

$$\left.\begin{matrix}\max\limits_{h^2_{\min}} P_н(1-P_b)\\ \min\limits_{h^2_{\min}}\left[1-P_н(1-P_b)\right]\end{matrix}\right\}$$

при $h^2_{\text{med}}=const$, то исследуем выражение

$$P_к=1-\frac{1}{2\sqrt{\pi}}\int_{h^2_{\min}}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{h_0^2}}\cdot e^{-\left(\sqrt{h_0^2}-\sqrt{h^2_{med}}\right)^2}dh_0^2\left(1-\frac{1}{2}e^{-h^2_{\min}}\right)$$

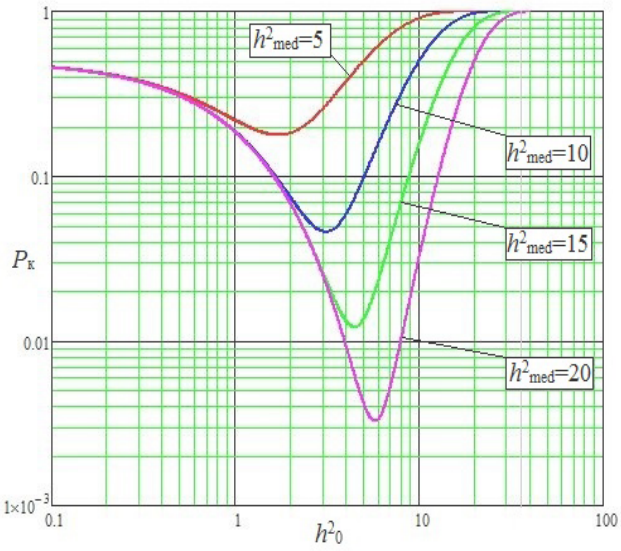


Рис. 1. Зависимость качества райсовского радиоканала $P_к$ от h^2_0 при $h^2_{\text{med}}=const$

Таблица 1

Зависимость $P_к=f(h^2_{\min})$ при $h^2_{\text{med}}=const$

$h^2_{\text{med}}=5$	$h^2_{\min}$	0,1	1	1,706	3,02	5	7,047	10	20
	$P_к$	0,4524	0,2168	0,1765	0,259	0,5	0,723	0,905	0,999
$h^2_{\text{med}}=10$	$h^2_{\min}$	0,1	1	1,5	2,014	2,965	4,4463	10	28,84
	$P_к$	0,4524	0,184	0,114	0,073	0,046	0,0736	0,5	0,991
$h^2_{\text{med}}=15$	$h^2_{\min}$	0,1	1	1,5	4,4463	6,9183	10	15	37
	$P_к$	0,4524	0,184	0,112	0,01212	0,0399	0,1575	0,5	0,999
$h^2_{\text{med}}=20$	$h^2_{\min}$	0,1	1	1,5	3,02	6,9183	15	20	50
	$P_к$	0,4524	0,184	0,112	0,0244	$8{,}97\cdot10^{-4}$	0,055	0,5	0,998

на экстремум в программной среде Mathcad (*рисунок 1*).

Результаты исследования представлены в *таблице 1*.

Анализ результатов расчетов, представленных в *таблице 1*, позволяет сделать важные для практики выводы:

- при $h^2_{med}=const$ существует оптимальное значение $h^2_{min}\equiv h^2_{opt}$, при котором вероятность $P_к$ достигает своего минимума, т.е. в этом случае обеспечивается наибольшее значение надежности (вероятности $P_н$) и наименьшее значение вероятности P_b (максимальное качество райсовского радиоканала передачи данных);
- с увеличением значений h^2_{med} (мощности радиопередатчика) уровень оптимального значения $h^2_{min}\equiv h^2_{opt}$ увеличивается, что дает возможность уменьшить вероятность P_b (повысить помехоустойчивость канала передачи данных) и повысить качество радиоканала (вероятность $P_к$ уменьшается);
- при $h^2_{min}=const$ ($h^2_{min}>1{,}5$) с увеличением h^2_{med} качество радиоканала повышается (вероятность $P_к$ уменьшается), однако при $h^2_{min}=h^2_{med}$ вероятность $P_к=0{,}5$, а при $h^2_{min}>h^2_{med}$ радиоканал использовать нельзя, так как его надежность становится недопустимо низкой, хотя вероятность P_b уменьшается.

Заключение

Получено новое выражение для оценки надежности райсовского радиоканала по помехоустойчивости (вероятности $P_н$), которое, в отличие от известных, учитывает плотность распределения вероятности энергии сигнала, не содержит функции Бесселя и позволяет определить оптимальное значение отношения $h^2_{min}\equiv h^2_{opt}$ при $h^2_{med}=const$, при котором обеспечивается максимально возможное качество радиоканала.

Литература

1. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 432 с.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. 2-е изд: перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд: пер. с англ. М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2017. 1100 с.

УДК 658.382

ОПТИМИЗАЦИЯ АНТИВИРУСНОЙ ЗАЩИТЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ФОРМАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО РЕСУРСА

OPTIMIZATION OF ANTI-VIRUS PROTECTION IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR SPECIAL PURPOSES: FORMAL GROUNDS FOR THE ALLOCATION OF A TEMPORARY RESOURCE

Анатолий Викторович Мазин
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Защита информации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
старший научный сотрудник
АО «Тайфун»
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 915-58-25
E-mail: mazinav@yandex.ru

Александр Николаевич Стадник
кандидат военных наук, доцент
начальник кафедры
Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко
Адрес: 350005, г. Краснодар, ул. Кореновская, д. 71
Тел.: +7 (918) 186-99-99
E-mail: alstaff@yandex.ru

Кирилл Сергеевич Скрыль
кандидат технических наук
ведущий специалист
Департамент информационной безопасности АО ИВК
Адрес: 141401, Московская обл., г. Химки,
ул. Германа Титова, д. 14, к. 2
Телефон. +7 (903) 655-58-88 E-mail: Vorkir@mail.ru

Иван Игоревич Коровин
ассистент
кафедра «Защита информации»
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5 стр. 1
Тел.: +7 (910) 435-04-97
E-mail: Korovin@ivk.ru

Эльвира Руслановна Башаева
аспирант
кафедра «Защита информации»
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5 стр. 1
Тел.: +7 (977) 412-85-50
E-mail: elvira.abacharaeva@yandex.ru

Аннотация

В данной статье авторы рассматривают проблему защищенности информации в АСУ СН от воздействия вредоносных программ. В статье освещен метод обеспечения защиты информации в АСУ СН с использованием разнородных механизмов антивирусной защиты. Авторы акцентируют внимание на том, что большое значение при оценке эффективности средств антивирусной защиты имеет время реагирования на угрозы вирусных атак. Авторами сделан вывод о том, что оценка эффективности средств антивирусной защиты может осуществляться с помощью разработки методик и моделей организации антивирусной защиты средствами резидентного и сеансового типа. Данная статья может быть полезна специалистам в области защиты информации.

Ключевые слова: информационная безопасность, антивирусная программа, защита информации, вредоносное программное обеспечение.

Summary

In this article, the authors consider the problem of information security in the automated control systems against the effects of malware. The article highlights the method of ensuring the protection of information in the automated control system with the use of heterogeneous anti-virus protection mechanisms. The authors emphasize that the response time to threats of virus attacks is of great importance in assessing the effectiveness of anti-virus protection tools. The authors concluded that the effectiveness of anti-virus protection tools' evaluation can be carried out by developing methods and models for the anti-virus protection organization by means of resident and session type. This article may be useful to specialists in the field of information security.

Keywords: information security, antivirus software, information protection, malicious software.

Анализ тенденций развития современного общества позволяет выявить объективную тенденцию развития сферы управления за счет широкого внедрения в нее последних достижений в области инфокоммуникационных технологий [1]. Указанная тенденция в значительной степени относится к сферам деятельности, обеспечивающим важнейшие функции государства. Отсюда, к информационным средствам, технологиям и ресурсам, обеспечивающим такого рода деятельность, выдвигаются специальные требования [2]. Одним из инструментов эффективного управления в данной сфере являются автоматизированные системы управления специального назначения (АСУ СН) [3].

Серьезным фактором нарушения работоспособности АСУ СН являются угрозы безопасности обрабатываемой информации – угрозы нарушения ее конфиденциальности, целостности и доступности [4]. Как системообразующие, АСУ СН реализованы на технологической платформе распределенных вычислительных сетей (РВС) [5], что делает их крайне уязвимыми в отношении такого рода угроз [6].

Проблема обеспечения защиты информации в АСУ СН существенно обострилась с появлением вредоносного программного обеспечения (ВПО) - одного из наиболее серьезных источников угроз информационной безопасности систем, построенных на технологической платформе компьютерных сетей [7].

Несмотря на обширную типизацию ВПО, основанную на существенном их различии в деталях взаимодействия с рабочей средой средств вычислительной техники (СВТ), в такого рода программах четко выделяются две функции первая, основная, – вредоносное воздействие на информацию рабочей среды – ее несанкционированное копирование, искажение и блокирование доступа к ней, и, вторая, – обеспечение живучести за счет ассоциирования с другими программами, полиморфных преобразований и репликативного распространения собственных копий. В основу механизмов обеспечение живучести вредоносных программ положены принципы компьютерной вирусологии [8].

Вирусные атаки на информационные процессы в АСУ СН, крайне критичные к своим временным и информационным характеристикам, приводят к серьезным последствиям, связанных с потерей в течение некоторого времени возможности реализовывать свою целевую функцию [9]. С учетом постоянно возрастающих требований к оперативности управления в сфере критических приложений проблема защищенности информации в АСУ СН от воздействия вредоносных программ является актуальной.

Это привело к необходимости внедрения в практику эксплуатации АСУ СН широкой номенклатуры различных средств антивирусной защиты. Типизация всего множества этих средств, которые по своей технологической природе являются программными средствами, позволила установить классификационное основание, позволяющее разделить средства антивирусной защиты на два класса. Таким основанием является механизм взаимодействия с программным обеспечением (ПО) в процессе функционирования АСУ СН, в соответствии с которым средства антивирусной защиты либо выполняют свои функции в процессе реализации ПО, либо периодически, в выделенные для этого сеансы времени.

Средства антивирусной защиты первого типа являются резидентами модулей ПО, что позволяет этим средствам реализовывать свои функции одновременно с функциями ПО АСУ СН. На этом основании методология информационной безопасности относит средства антивирусной защиты первого типа к резидентным средствам [10]. Функциями средств антивирусной защиты резидентного типа являются контроль состояния реализации компонент ПО, реагирование на некорректное состояние рабочей среды СВТ и восстановление ее корректности. Преимуществом средств антивирусной защиты резидентного типа является своевременное реагирование на некорректное состояние рабочей среды СВТ.

Средства антивирусной защиты второго типа теория информационной безопасности относит к сеансовым [10]. Такого рода средства представляют собой программные компоненты контроля состояния рабочей среды СВТ АСУ СН, обеспечивающие идентификацию в ней кодов вредоносных программ, а также признаков выполнения операций, связанных с несанкционированным копированием, модификацией, уничтожением и блокированием информации. Достоинством средств антивирусной защиты сеансового типа является возможность реализации в полном объеме всего многообразия имеющихся способов обнаружения вредоносных программ, уничтожения их кодов, а также восстановления программ и данных, подвергшихся искажению за счет воздействия ВПО на рабочую среду СВТ. Это связано с независимостью функций, реализуемых средствами антивирусной защиты сеансового типа от функций ПО АСУ СН и, как следствие – возможность управления ресурсами АСУ СН при использовании этих средств за счет инициирования их работы администратором безопасности. На сегодняшний день средства антивирусной защиты сеансового типа являются эффективным инструментом обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности [11] обрабатываемой и хранимой в АСУ СН информации. Вместе с тем, существует одно обстоятельство, не позволяющее обеспечить достижение максимальной эффективности средств данного типа. Этим обстоятельством является периодический характер реализации функций

антивирусной защиты. В условиях существующей регламентации периодичности использования средств антивирусной защиты сеансового типа, когда необходимость реализации процедур защиты и достигаемая при этом ее эффективность оцениваются экспертно, не обеспечивается требуемая адекватность реагирования на угрозы вирусных атак.

Как резидентный, так и сеансовый принципы реализации антивирусных средств приводят к необходимости использования функционального ресурса АСУ СН одновременно со средствами обработки информации, что является предпосылкой конфликта по его использованию средствами с различными целями. Данное обстоятельство приводит к необходимости решения актуальной как в научном, так и в прикладном плане проблемы разработки методик и моделей организации антивирусной защиты средствами резидентного и сеансового типа при которой объем выполняемых процедур и периодичность их реализации определяются рядом факторов, характеризующих процесс функционирования АСУ СН в условиях воздействия вредоносных программ как оптимизируемый процесс. Комплексное использование приложений системного анализа [12] в проблематике обеспечения защиты информации от вредоносных программ позволило привести такого рода задачу к классу задач оптимального временного резервирования [13].

Реализация процедур антивирусной защиты, в условиях постоянного нахождения АСУ СН в функциональном состоянии и выполнении задач по прямому предназначению, требует определенных временных ресурсов.

В виду необходимости изыскания временного ресурса для реализации механизмов антивирусной защиты в АСУ СН введем следующие понятия (*рисунок 1*):

- идеальный уровень $Э_{(и)}$ эффективности обработки информации в АСУ СН, под которым будем понимать тот уровень эффективности, когда условия для обработки идеальны и отсутствуют воздействия угроз вирусных атак. Естественно, что в этом случае средства антивирусной защиты отсутствуют;
- реальный уровень $Э_{(р)}$ эффективности обработки информации в АСУ СН, под которым будем понимать тот уровень эффективности, когда условия для обработки не идеальны, а на информационные процессы воздействуют угрозы вирусных атак;
- уровень функционального отказа $Э_{(фо)}$, под которым будем понимать тот уровень эффективности обработки информации в АСУ СН когда информационные процессы в данной системе, вследствие воздействия вирусных атак, не обеспечивают достижение целей ее функционирования.

Определим разность между уровнем реальной эффективности и уровнем функционального отказа (*рисунок 2*):

$$\Delta Э = Э_{(фо)} - Э_{(р)}. \quad (1)$$

При этом, следует иметь в ввиду, что проблема синтеза механизмов антивирусной защиты в АСУ СН (включая оптимизацию временных ресурсов этих систем) будет решаться лишь в том случае, когда $\Delta Э > 0$.

Исходя из того, что эффективность $Э$ обработки информации в АСУ СН является функцией $f(*)$ используемого в процессе обработки временного ресурса R данной системы:

$$Э = f(R) \quad (2)$$

величину временного ресурса ΔR, который может быть выделен на обеспечение антивирусной защиты в АСУ СН представим как:

$$\Delta R = f^{-1}(\Delta Э), \quad (3)$$

где $f^{-1}(\bullet)$ – функция обратная $f(*)$, а $\Delta Э$ соответствует (1).

Исходя из рассмотренной выше номенклатуры средств антивирусной защиты и необходимости распределения временного ресурса АСУ СН между соответствующими антивирусными меха-

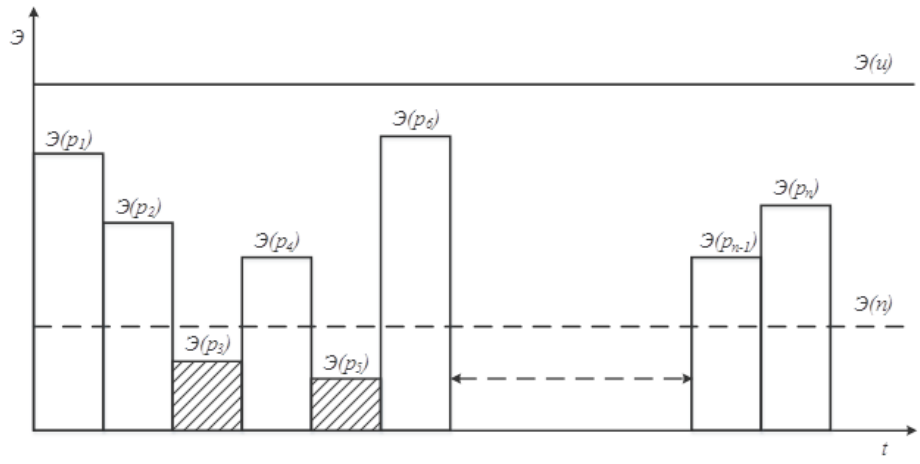


Рис. 1. Периодичность реализации механизмов антивирусной защиты в условиях нормативной регламентации

низмами определим те его части, которые целесообразно выделить на использование механизмов сеансового и резидентного типов.

В общем виде временной ресурс, выделяемый на обеспечение антивирусной защиты в АСУ СН, представляется в виде:

$$\Delta R = R_{(c)} + R_{(p)}, \quad (4)$$

где $R_{(c)}$ – временной ресурс, используемый антивирусными средствами сеансового типа;

$R_{(p)}$ – временной ресурс, используемый антивирусными средствами резидентного типа.

В качестве предпосылки для распределения будем использовать возможности по реагированию указанными механизмами антивирусной защиты на различные типы вирусных атак:

$$R_{(c)}/R_{(p)} = (\alpha_{(oo)} \bullet V_{(oo)} + \alpha_{(нц)} \bullet V_{(нц)} + \alpha_{(нк)} \bullet V_{(нк)})/(\gamma_{(oo)} \bullet V_{(oo)} + \gamma_{(нц)} \bullet V_{(нц)} + \gamma_{(нк)} \bullet V_{(нк)}), \quad (5)$$

где $V_{(oo)}$ – общий объем регистрируемых атак типа «отказ в обслуживании» на информационные ресурсы АСУ СН;

$V_{(нц)}$ – общий объем регистрируемых атак, связанных с нарушением целостности информации в АСУ СН;

$V_{(нк)}$ – общий объем регистрируемых атак, связанных с нарушением конфиденциальности информации в АСУ СН;

$\alpha_{(oo)}$ – коэффициент, учитывающий возможности механизмов антивирусной защиты сеансового типа по реагированию на атаки типа «отказ в обслуживании» в АСУ СН;

$\alpha_{(нц)}$ – коэффициент, учитывающий возможности механизмов антивирусной защиты сеансового типа по реагированию на атаки, связанные с нарушением целостности информации в АСУ СН;

$\alpha_{(нк)}$ – коэффициент, учитывающий возможности механизмов антивирусной защиты сеансового типа по реагированию на атаки, связанные с нарушением конфиденциальности информации в АСУ СН;

$\gamma_{(oo)}$ – коэффициент, учитывающий возможности механизмов антивирусной защиты резидентного типа по реагированию на атаки типа «отказ в обслуживании» в АСУ СН;

$\gamma_{(нц)}$ – коэффициент, учитывающий возможности механизмов антивирусной защиты резидентного типа по реагированию на атаки, связанные с нарушением целостности информации в АСУ СН;

$\gamma_{(нк)}$ – коэффициент, учитывающий возможности механизмов антивирусной защиты резидентного типа по реагированию на атаки, связанные с нарушением конфиденциальности информации в АСУ СН.

Практика использования механизмов антивирусной защиты показывает, что сеансовые механизмы защиты являются инструментом реагирования на все типы вирусных атак ($\alpha_{(oo)}=1$, $\alpha_{(нц)}=1$, $\alpha_{(нк)}=1$), в то время как, согласно статистике [14] резидентные механизмы обеспечивают высокую эффективность реагирования (до 87%, $\gamma_{(oo)}=0{,}87$) на вирусные атаки типа «отказ в обслуживании», среднюю эффективность реагирования (порядка 46%, $\gamma_{(нц)}=0{,}46$) на вирусные атаки, связанные с нарушением целостности информации и низкую эффективность реагирования (около 7%, $\gamma_{(нк)}=0{,}07$) на вирусные атаки, связанные с нарушением конфиденциальности информации.

Рассмотренные формальные основания для распределения временного ресурса АСУ СН между разнородными механизмами антивирусной защиты являются предпосылкой для разработки теоретических основ оптимизация антивирусной защиты в системах данного класса.

Литература

1. Основы инфокоммуникационных технологий: учебное пособие / В.В. Величко, Г.П. Катунин, В.П. Шувалов. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. 712 с.
2. Развитие систем специального информационного обеспечения государственного управления / Н.И. Ильин, Н.Н. Демидов, П.Н. Попович. М.: МедиаПресс, 2009. 287 с.

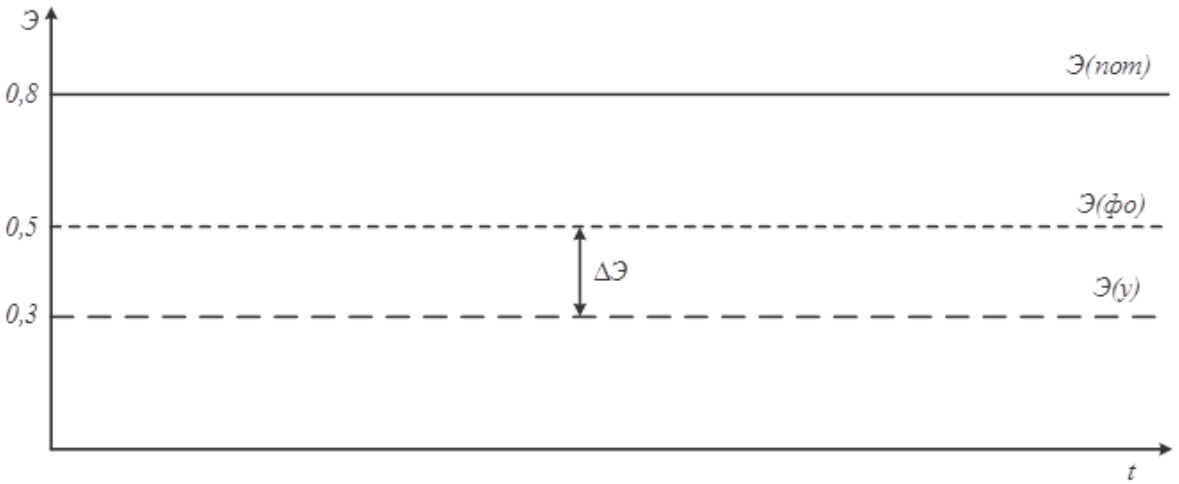


Рис. 2. Представление уровней реальной эффективности и функционального отказа

3. Автоматизированные системы управления специального назначения: монография / В.Н. Козичев, А.А. Протасов, А.В. Ширманов. М.: ООО Припп «Новые авторы», 2019. 448 с.
4. Информационная безопасность: учебник для студентов бакалавриата, обучающихся в области программного обеспечения, вычислительной техники и автоматизированных систем / В.П. Мельников, А.И. Куприянов, Т.Ю. Васильева. М.: КНОРУС, 2018. 372 с.
5. Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие. Т.3 / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 592 с.
6. Информационная безопасность открытых систем: учебник для вузов. Т.1: Угрозы, уязвимости, атаки и подходы к защите / С.В. Запечников [и др.]. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 536 с.
7. Вирусологическая типизация вредоносных программ / Л.В. Чагина, К.С. Скрыль, П.Ф. Сушков // Наука производству, 2005. Вып.6. С.12-17.
8. Касперский Е.В. Компьютерное зловредство. СПб.: «Питер», 2007. 208 с.
9. Бокова О.И. Оптимальное управление безопасностью территориальных сегментов информационно-телекоммуникационных систем // Монография. Воронежский институт МВД России, 2006. 153 с.
10. Информационная безопасность открытых систем: учебник для вузов. В 2-х томах. Т.2. Средства защиты в сетях // С.В. Запечников [и др.]. М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 558 с.
11. Организационно-технологическое управление процессами защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах управления критических применений на основе использования программных средств защиты: учебное пособие // Т.В. Мещерякова [и др.]. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. 84 с.
12. Шелупанов А.А., Скрыль С.В. Основы системного анализа в защите информации: учебное пособие для студентов высших учебных заведений // М.: Машиностроение, 2008. 138 с.
13. Черников Ю.Г. Системный анализ и исследование операций: учебное пособие для вузов. М.: МГГУ, 2006. 365 с.
14. Статистические данные Лаборатории Касперского по атакам на информационные ресурсы органов государственной власти [Электронный ресурс]. URL: https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/2019_po-dannym-laboratorii-kasperskogo-v-2019-godu-gorodskie-administracii-v-poltora-raza-chashche-stalkivalis-s-atakami-shifrovalshchikov (дата обращения: 06.01.2020).

УДК 621.396.96

СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ МЕЖДУ РАЗДЕЛЕННЫМИ «ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ» МЕДНЫМИ ЛИНИЯМИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЪЕМНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

A METHOD OF DATA TRANSMISSION BETWEEN COPPER LINES OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORKS SEPARATED BY AN "AIR GAP" WITHOUT THE USE OF REMOVABLE STORAGE MEDIA

Игорь Фанильевич Бутырский
ведущий инженер по защите информации
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
E-mail: nik8806@yandex.ru

Никита Владимирович Петрищев
начальник группы информационной безопасности
АО «Научно-производственное предприятие «Калужский приборостроительный завод «Тайфун»
Адрес: 248035, г. Калуга, Грабцевское шоссе, д. 174
E-mail: nik8806@yandex.ru

Аннотация:
В статье рассматривается интервал временной корреляции эхосигналов, отраженных от надводных объектов, находящихся в прямой видимости радиолокационной станции X диапазона. В качестве конкретных объектов рассматриваются суда и корабли различного водоизмещения. Исследование осуществляется на основе анализа источников, содержащих теоретические и практические результаты.
Ключевые слова: информационная безопасность, Интернет, критическая информационная инфраструктура, локальная вычислительная сеть.

Summary
The article considers the interval of time correlation of echo signals reflected from surface objects located in the line of sight of the X band radar station. Vessels and ships of various displacement are considered as specific objects. The study is carried out on the basis of an analysis of sources containing theoretical and practical results.
Keywords: information security, Internet, critical information infrastructure, local area network.

Основным источником угроз информационной безопасности (ИБ) является глобальная сеть «Интернет» (Интернет). В тоже время в современных условиях сложно себе представить работу организации, изолированную от Интернета. Потребность и Интернете продиктована выполнением постоянных, необходимых для нормальной работы организации задач: обмен информацией с контрагентами (E-mail, облачные сервисы и т.п.); обмен информацией с фискальными, контролирующими органами, финансовыми учреждениями; обновление программного обеспечения; обновление баз данных угроз безопасности, обновление баз данных информационно-правового обеспечения и иных информационно-справочных баз; получение актуальной информации в рамках производственной необходимости; обслуживание сайта организации. Объединяя внутреннюю информационно-телекоммуникационную сеть (ИТС) с глобальной сетью Интернет вектором атаки для внешнего нарушителя становится любое устройство организации, имеющее взаимодействие между этими сетями.

Обеспечение устойчивого функционирования информационной инфраструктуры напрямую связано с уровнем ИБ. Достижение максимально высокого уровня ИБ становится актуальным в тех информационных системах, автоматизированных системах управления, ИТС, которые отнесены к значимым объектам критической информационной инфраструктуры (КИИ) в соответствии со статьей 7 Федерального закона от 26 июля 2017 г. №187-ФЗ «О безопасности критической информационной ин-

фраструктуры Российской Федерации». Среди множества способов защиты сегментов проводных ИТС, одним из лучших считается наличие гальванической развязки, так называемой «воздушной прослойки». Изолируя источник угроз, получаем исключение атаки в рассматриваемой нами среде передачи данных. В таком случае самым простым решением для реализации взаимодействия (приема/передачи информации) между объектами независимых, не имеющих физического соединения ИТС, является использование съемных носителей информации или ручная попеременная коммутация объекта ИТС с сетями Интернет/внутренней ИТС. К примеру, известна полезная модель №210386 RU H04L 12/00 «Управляемый разъединитель сети Ethernet» (опубл. 14.04.2022г.), для оперативного разъединения элементов сети Ethernet друг от друга. Устройство позволяет физически разъединить линии магистрали Ethernet, подключающей элемент к сети, по команде от управляющего устройства (УУ). Однако, данное устройство предназначено для прерывания одной линии ИТС, что не позволяет производить переключение между нескольким объектам независимых, не имеющих физического соединения ИТС. Также существуют механические переключатели линий Ethernet, представляющее собой устройство, которое позволяет с помощью механической кнопки или переключателя попеременно производить физическое разрывание (размыкание) 8-ми жил коммутации одной линии магистрали Ethernet (например, с внутренней ИТС) и обеспечение коммутации 8-ми жил другой линии магистрали Ethernet (например, с доступом к сети Интернет). Данное устройство позволяет выполнить условия, заданные заголовком настоящей статьи, но ручное переключение тянет за собой ограничение по автоматизации.

Как обычно это бывает, повышая уровень ИБ, понижается скорость передачи данных либо повышается сложность мер защиты и, следовательно, повышается стоимость расходов. Получаем не что иное, как классическую форму тройственной ограниченности (*рисунок 1*), когда изменение одной вершины треугольника влияет другие вершины.

В поисках баланса между «ограниченностями» и приемлемым уровнем ИБ АО «Тайфун» был реализован способ передачи данных между объектами независимых, не имеющих физического соединения, ИТС, с помощью разработанного на предприятии программно-аппаратного комплекса автоматического размыкания и переключения ИТС (ПАК АРПИТС).

ПАК АРПИТС – это автономное устройство, которое после предварительной настройки обеспечивает процесс передачи данных путем автоматического переключения линий проводной связи стандарта Ethernet по заданному интервалу времени, установленному расписанию или путем принудительного переключения (по кнопке), осуществляемого оператором устройства (*рисунок 2*).

Устройство состоит из: управляющего модуля (УМ) на базе программируемого микроконтроллера; LCD дисплея; релейного модуля (РМ); клавиатуры управления (6 кнопок); LED – ламп индикации текущего режима работы; разъемов RJ-45 и блока питания 5В. При этом УМ не связан каналами передачи данных ни с одной из коммутируемых ИТС и предназначен для установки текущего времени суток, а также для конфигурирования, установки и исполнения режимов подачи управляющего сигнала на РМ.

С помощью РМ (*рисунок 3*), к разъемам 1 и 2 по интерфейсам RJ-45 подключены две независимые, не имеющие физического соединения ИТС 1 (например, внутренняя ИТС организации) и ИТС 2 (например, сеть Интернет). К разъему 3 подключается, например, сервер обновлений, файловый сервер или отдельный ПК пользователя. Дополнительно для гальванической развязки цепей управления микроконтроллеров и питания реле применяется оптрон. Контакты

Рис. 1. Форма тройственной ограниченности

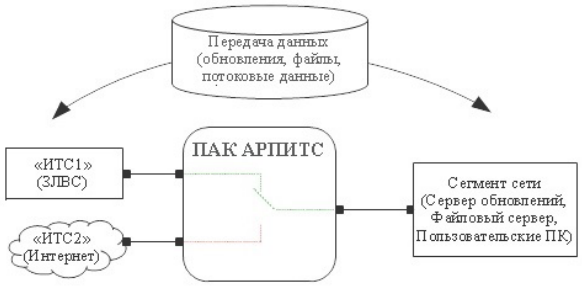


Рис. 2. Схема работы ПАК АРПИТС

разъема 1 соединены с контактами L1 реле К1-К8, контакты разъема 2 соединены с контактами L2 реле К1-К8, контакты разъема 3 соединены с контактами D реле К1-К8.

Контакты реле D и L1 находятся в нормальном замкнутом состоянии. При подаче питания VCC напряжением 5В на УМ и РМ контакты реле D и L1 продолжают находиться в замкнутом состоянии, что обеспечивает прямое гальваническое соединение между контактами разъемов 1 и 3. Соединение между контактами разъемов 2 и 3, а также 1 и 2 при этом отсутствует.

При подаче с УМ сигнала на In1 (управляющий сигнал) напряжением 5В, на реле К1-К8 поступает ток, чем обеспечивается переключение контактов реле (разъединение контактов разъемов 1 и 3 и соединение контактов разъемов 2 и 3).

Осуществление вышеуказанной последовательности действий при передаче данных между объектами двух независимых, не имеющих физического соединения ИТС, позволяет сохранять на прежнем уровне ИБ каждой независимой ИТС и решать следующие задачи:

1. Задача: В закрытой локальной вычислительной сети (ЗЛВС) требуется периодическое обновление антивирусных баз, баз данных информационно-правового обеспечения («Гарант», «Консультант» и тп.), обновлений ПО (репозиторий).

Решение: Настроить ПАК АРПИТС на подключение сегмента сети (Сервер обновлений) к сети Интернет в нерабочее время. Например, с 23:00 до 06:00. В этот период будет производиться скачивание необходимых данных. В период с 06:00 до 23:00 Сервер обновлений будет доступен только во внутренней ИТС.

2. Задача: Требуется передача файлов из «ИТС1» (ЗЛВС) в «ИТС2» (сеть Интернет) для последующей их отправки по E-mail.

Решение: Пользователи сети «ИТС1» переносят файлы на Файловый сервер №1, который постоянно находится в «ИТС1». В этот момент данные синхронизируются с сегментом сети (Файловый сервер №2). Затем через заданный период времени с помощью ПАК АРПИТС Файловый сервер №2 переключается в «ИТС2». В этот период происходит синхронизация данных Файлового сервера №2 с Файловым сервере №3, который постоянно находится в «ИТС2».

3. Задача: Существует угроза проникновения злоумышленников в сегмент сети (Пользовательские ПК) с доступом в сеть Интернет. По статистике, с большей долей вероятности атаки злоумышленников происходят в нерабочий период времени. Поэтому в целях исключения реализации угроз в нерабочее время требуется отключение доступа к сети Интернет сегмента сети, которому не требуется данный доступ в этот период времени.

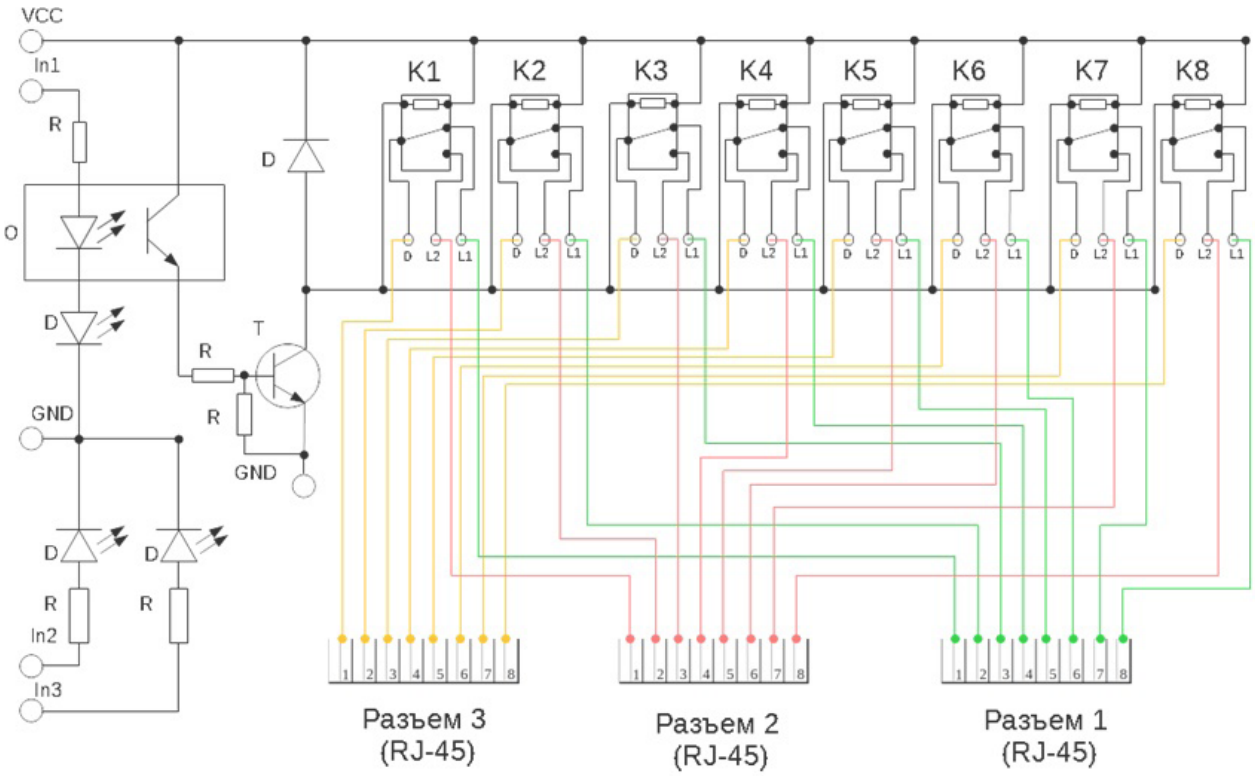


Рис. 3. Принципиальная схема релейного модуля

Решение: Настроить ПАК АРПИТС на ежедневное отключение сегмента сети (Пользовательские ПК) от сети Интернет в нерабочее время. При этом Ethernet разъем «ИТС1» остается не задействованным.

4. Задача: Пользователю «ИТС1» (ЗЛВС) требуется по мере необходимости подключаться к «ИТС2» (сети Интернет).

Решение: С помощью ПАК АРПИТС пользователь на своем рабочем месте по кнопке производит переключение между «ИТС1» и «ИТС2».

В целях правовой охраны разработанного программно-аппаратного комплекса подана заявка №202213211 от 08.12.2022г. на изобретение «Способ передачи данных между объектами независимых, не имеющих физического соединения, информационно-телекоммуникационных сетей и устройство его реализующее».

Литература

1. Требования по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации / Утв. приказом ФСТЭК России от 25.12.2017 №239.

2. Описание полезной модели к патенту №210386 «Управляемый разъединитель сети Ethernet» // ФСИС России: [ссылка]. URL: https://fips.ru/registers-doc-view/ fips_servlet?db= rupm&docnumber=210386&typefile=html.

УДК 04.056

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕР ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАРУШЕНИЯ РЕЖИМА ОХРАНЫ МОРСКИХ ПОРТОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF COUNTERING VIOLATIONS OF THE PROTECTION REGIME OF SEAPORTS IN THE ARCTIC ZONE

Евгений Андреевич Старожук
кандидат экономических наук, доцент
заведующий кафедрой
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел: 8 (499) 263-69-55

Алексей Витальевич Астрахов
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры
МГТУ имени Н.Э. Баумана
Тел.: 8 (903) 579-42-68
E-mail: astr1@mail.ru

Владимир Сергеевич Зарубин
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
Федеральное казенное учреждение
«Научно-исследовательский центр «Охрана»
Федеральная служба войск национальной гвардии РФ
Адрес: 111539, Москва, ул. Реутовская, д. 12б
Тел.: 8 (910) 247-34-70
E-mail: zarvs@mail.ru

Денис Александрович Холод
аспирант
старший преподаватель
МГТУ имени Н.Э. Баумана
Тел.: 8 (963) 680-56-41
E-mail: dekholod@mail.ru

Анатолий Викторович Мазин
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Защита нформации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
старший научный сотрудник АО «Тайфун»
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 915-58-25
E-mail: mazinav@yandex.ru

Тимофей Борисович Ходырев
адъюнкт
старший инспектор по особым поручениям
Федеральная служба войск национальной гвардии РФ
Адрес: 111250, Москва,
Красноказарменная ул., 9 а
Тел.: +7 (916) 607-97-31
E-mail: tim-hod@yandex.ru

Аннотация

Обосновывается актуальность вопросов обеспечения физической защиты судов и иных плавсредств с ядерными энергетическими установками и радиационными источниками в период их стоянки в морских портах Арктической зоны Российской Федерации. Рассматриваются принципы построения и функционирования мобильных комплексов физической защиты (КФЗ) морских портов Арктической зоны как нового класса комплексных автоматизированных систем безопасности. Определяется нарушение доступности информации в КФЗ как наиболее серьезный фактор нарушения работоспособности таких систем. Констатируется низкий уровень проработки вопросов защиты информации от нарушения ее доступности в комплексных и интегрированных системах безопасности, и отсутствие проработки этих вопросов в КФЗ. Обосновывается причина нынешнего состояния теории и практики защиты информации от нарушения ее доступности в КФЗ – отсутствие методического аппарата математического моделирования, адекватно оценивающего эффективность мер предотвращения проникновения в охраняемую зону, осуществляемого путем блокирования информации в КФЗ. Приводится формальная интерпретация условий, при которых противодействие такого рода угрозам реализуется эффективно. Обосновывается интегральный показатель своевременности реагирования на проникновение в охраняемую зону морского порта, осуществляемое путем блокирования информации в КФЗ.

Ключевые слова: комплексы физической защиты морских портов Арктической зоны Российской Федерации, противодействие нарушениям режима охраны морского порта, осуществляемых путем блокирования информации в комплексе его физической защиты, своевременность реагирования на проникновение в охраняемую зону.

Summary
The relevance of the issues of ensuring the physical protection of ships and other watercraft with nuclear power plants and radiation sources during their parking in the seaports of the Arctic zone of the Russian Federation is substantiated. The principles of construction and functioning of mobile physical protection complexes (FSCs) of seaports of the Arctic zone as a new class of integrated automated security systems are considered. The violation of the availability of information in the KFZ is determined as the most serious factor of the violation of the operability of such systems. There is a low level of study of the issues of information protection from violation of its availability in complex and integrated security systems, and the lack of study of these issues in the KFZ. The author substantiates the reason for the current state of the theory and practice of information protection from violation of its availability in the KFZ - the lack of a methodological apparatus of mathematical modeling that adequately assesses the effectiveness.
Keywords: complexes of physical protection of Arctic zone seaports of the Russian Federation, countering violations of the seaport security regime carried out by blocking information in the complex of its physical protection, timely response to penetration into the protected zone.

Анализ терроризма как формы воздействия на общественное сознание дает основание полагать, что по тяжести последствий наиболее опасными террористическими акциями являются акции в отношении объектов ядерной энергетики. Очевидно, что аварии на АЭС, объектах переработки ядерных отходов, хранения и транспортирования ядерных материалов, а так же судах с ядерными энергетическими установками, приводят к колоссальному экологическому ущербу [1].

Одним из объектов, который потенциально может стать мишенью для террористических атак является береговая ядерная инфраструктура Арктической зоны Российской Федерации [2]. Ее уязвимость для проникновения террористических групп обусловила разработку и внедрение в эксплуатацию нового класса систем охраны – мобильных комплексов физической защиты (КФЗ). Особенностью КФЗ является их жесткая ориентация только на один тип объектов охраны – морские порты Арктической зоны (АЗ). Целевой функцией КФЗ является мониторинг охраняемой территории и акватории морского порта для предотвращения нарушения режима его охраны.

В качестве технологической основы для реализации управления охранным оборудованием в КФЗ выступает его локальная вычислительная сеть (ЛВС). Основной функцией ЛВС КФЗ является сбор, передача, обработка и отображение информации о состоянии охраняемой территории и акватории, поступающей от средств охранной сигнализации, охранного телевидения, мониторинга окружающей обстановки, контроля и управления доступом в охраняемую зону [3]. Естественно, что в условиях жестких требований к своевременному реагированию на попытки проникновения в охраняемую зону непрерывность управления охранным оборудованием являются основным фактором, определяющим эффективность мер предотвращения нарушения режима охраны объектов. Отсюда серьезной уязвимостью, влияющей на работоспособность КФЗ, является нарушение доступности информации [4]. Блокирование доступа к информации КФЗ, поступающей от охранного оборудования, имеет самые серьезные последствия для охраняемых объектов, а в условиях, когда объекты представляют собой суда с ядерными энергетическими установками, последствием может явиться колоссальный экологический ущерб.

Исключение любой возможности нарушения работоспособности КФЗ обусловливает высокие требования к обеспечению защиты информации от блокирования в их ЛВС [5].

Это, в свою очередь, приводит к необходимости адекватной оценки эффективности мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта в условиях блокирования информации в его КФЗ. То обстоятельство, что функция предотвращения такого рода нарушений является противоположной по своему содержанию функции проникновения в охраняемую зону, позволяет рассматривать возможности по реагированию на действия нарушителя силами и средствами физической защиты порта в качестве характеристики эффективности соответствующих мер предотвращения проникновения в охраняемую зону [6].

Это позволяет определить такого рода меры как результат целенаправленного использования возможностей физической защиты порта и средств КФЗ в соответствии с критериями своевременного реагирования на действия нарушителя по проникновению в охраняемую зону за счет блокирования доступа к информации охранного оборудования с автоматизированных рабочих мест должностных лиц (АРМ ДЛ) КФЗ [7].

С целью синтеза показателя эффективности мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем бло-

кирования информации в его КФЗ определим множество функциональных состояний S, связанных с реализацией нарушителями возможности проникновения в охраняемую зону за счет блокирования доступа к информации охранного оборудования с АРМ ДЛ:

$$S = \{s_i\}, i = 1, 2, \ldots, I, \quad (1)$$

и множество функциональных состояний M:

$$M = \{m_j\}, j = 1, 2, \ldots, J, \quad (2)$$

связанных с реализацией мер предотвращения нарушения режима охраны.

Определим (1) как пространство ситуаций, каждая точка которого определяет конкретную характеристику действий нарушителей.

Тогда вектор характеристик:

$$C_{(S)} = (c(s_1), c(s_2),\ldots, c(s_I)) \quad (3)$$

однозначно определяется текущим состоянием такого рода действий.

Аналогичным образом определим (2) как пространство ситуаций, каждая точка которого определяет конкретную характеристику мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта.

Тогда вектор характеристик:

$$C_{(M)} = (c(m_1), c(m_2),\ldots, c(m_J)) \quad (4)$$

однозначно определяется текущим состоянием процесса реагирования на действия нарушителей.

Задав функции φ_i и ψ_j, определяющие связи состояний s_i и m_i и характеристик $c_{(S)i}$ и $c_{(M)i}$, соответственно, векторную форму этих связей представим в виде вектор-функций:

$$C_{(S)} = \theta(S),$$

где $\theta(S) = (\varphi_1(S), \varphi_2(S), \ldots, \varphi_I(S))$; и

$$C_{(M)} = \Psi(M),$$

где $\Psi(M) = (\psi_1(M), \psi_2(M), \ldots, \psi_J(M))$.

При оценке эффективности мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ, воспользуемся J-мерной характеристикой $C_{(M)}$, описываемой вектором (4). Для каждой составляющей данного вектора можно сформулировать требование, выполнение которого приведет к недопущению нарушения режима охраны. Поэтому формально требование к обеспечению режима охраны морского порта представляется в виде вектора:

$$R = (r_1, r_2, \ldots, r_J), \quad (5)$$

где r_j – j-е требование к обеспечению режима охраны.

Опыт решения проблемы обеспечения качества применения компьютерных технологий в условиях угроз информационной безопасности, в целом, и качества их применения в охранных системах, в частности, позволяет рассматривать форму ограничений, как форму обоснованности требований к недопущению нарушения режима охраны [8]. В этом случае требование r_j, накладываемое на характеристику m_j мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ, представляет собой условие, при котором значение характеристики m_j не должно быть меньше (больше) характеристики s_i действий нарушителя по проникновению в охраняемую зону:

$$m_j \geq c_i \ (m_j \leq c_i). \quad (6)$$

Таким образом, процесс синтеза показателя эффективности мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ, включает:

- формирование множества (1) состояний процесса проникновения в охраняемую зону, осуществляемых за счет нарушения работоспособности КФЗ путем блокирования информации, поступающей от охранного оборудования;
- формирование множества (2) состояний реагирования на проникновение;
- определение вектор-функций $\theta(S)$ и $\Psi(M)$;
- определение составляющих вектора (3) характеристик действий по нарушению режима охраны;
- определение составляющих вектора (4) характеристик эффективности противодействия нарушениям;
- выработка требований, накладываемых на каждую составляющую вектора (5).

С целью формальной интерпретации сформулированных требований определим условия, при которых предотвращение нарушения режима охраны морского порта, осуществляемое путем блокирования информации в его КФЗ, реализуется эффективно. Для этого воспользуемся приведенной в [9] концептуальной моделью нарушения режима охраны морского порта. Формально, регламентируемые данной моделью соотношения между моментом времени $t_{(нп)k}$ начала действий нарушителей по реализации ими k-го, k=1,2,3,4, этапа и моментом времени $t_{(нр)k}$ обнаружения такого рода действий средствами КФЗ интерпретируются следующим образом [10]:

- для этапов доступа к аппаратным и программным средствам КФЗ (этап 1) и анализа состояния охраняемой зоны (этап 2) существует временной интервал определенной длины между рассматриваемыми моментами времени:

$$t_{(нр)k} - t_{(нп)k} > 0, k = 1, 2; \quad (7)$$

- для этапов блокирования информации в КФЗ (этап 3) и проникновения в охраняемую зону (этап 4) длина временного интервала меж-

ду рассматриваемыми моментами времени близка нулю:

$$t_{(нр)k} - t_{(нп)k} \approx 0, k = 3, 4. \quad (8)$$

Формальной интерпретацией требований к недопущению нарушения режима охраны, в соответствии с представлением их в виде (6) для этапов 3 и 4 является событие, соответствующее соотношению (8) между моментом времени $t_{(нп)k}$ начала действий нарушителя и моментом времени $t_{(нр)k}$ начала реагирования КФЗ. Требование к недопущению нарушения режима охраны сводится к обеспечению условия, когда время $\tau_{(р)k}$ реагирования на угрозу реализации указанных этапов не превышает времени $\tau_{(п)k}$ их реализации, т.е. [11]:

$$\tau_{(р)k} \le \tau_{(п)k}, k = 3, 4. \quad (9)$$

Так как $\tau_{(р)k}$ и $\tau_{(п)k}$ являются величинами случайными выполнение условия (9) следует рассматривать как случайное событие. Вероятность $P(\tau_{(р)k} \le \tau_{(п)k})$ этого события следует рассматривать как характеристику своевременности реагирования на угрозу реализации k-го, k=3,4, этапа нарушения режима охраны порта:

$$e_k = P(\tau_{(р)k} \le \tau_{(п)k}). \quad (10)$$

Формальной интерпретацией требований к недопущению нарушения режима охраны, в соответствии с представлением их в виде (6) для этапов 1 и 2 является событие, соответствующее соотношению (7) между моментом времени $t_{(нп)k}$ начала действий нарушителя и моментом времени $t_{(нр)k}$ начала реагирования КФЗ. В этом случае требование к недопущению нарушения режима охраны основывается на трех условиях своевременного реагирования на такого рода угрозы [10]:

$$t_{(нп)k} + \tau_{(п)k} > t_{(нр)k}, \quad (11)$$

$$t_{(нр)k} + \tau_{(р)k} > t_{(нп)k}, \quad (12)$$

$$t_{(нр)k} + \tau_{(р)k} \le t_{(ну)k} + \tau_{(п)k}, k = 1, 2. \quad (13)$$

Согласно этим условиям характеристика своевременности реагирования на действия нарушителя по доступу к аппаратным и программным средствам КФЗ и анализу состояния охраняемой зоны представляется в виде [10]:

$$e_k = P(t_{(нп)k} + \tau_{(п)k} > t_{(нр)k}, t_{(нр)k} + \tau_{(р)k} > t_{(нп)k}, t_{(нр)k} + \tau_{(р)k} \le t_{(ну)k} + \tau_{(п)k}), k = 1, 2. \quad (14)$$

Будем полагать, что эффективность E мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ характеризует своевременность реагирования на действия нарушителей при реализации всех этапов нарушения режима охраны.

Исходя из природы отражения человеком сложных явлений, выраженной в стремлении интегрально оценивать различные проявления этих явлений. формально показатель эффективности мер E предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ, представляется как результат поуровневого объединения элементов структурно упорядоченного множества характеристик мер предотвращения:

$$E = c_{11} \cup c_{21} \cup \ldots \cup c_{n11} \cup \cup c_{n1+1,2} \cup c_{n1+2,2} \cup \ldots \cup c_{n22} \cup \cup c_{n2+1,3} \cup c_{n2+2,3} \cup \ldots \cup c_{n33} \cup \ldots \cup c_{nL-1+1,L} \cup c_{nL-1+2,L} \cup \ldots \cup c_{NL}, \quad (15)$$

где c_{nl} – подмножество характеристик l-го, l=1,2,…,L, уровня, структурированных по основанию n, n=1,2,…,N;

N – число оснований, по которым структурируются характеристики мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ.

Структура множества (15) характеристик мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ, формируется путем упорядочения векторного представления характеристик функций, выполняемых в процессе проникновения в охраняемую зону за счет блокирования доступа к информации охранного оборудования с АРМ ДЛ, и характеристиками функций, выполняемых в процессе реагирования на такого рода угрозы, соответственно. Элементы векторов (3) и (4) составляют первый (нижний) уровень формируемой структуры характеристик. Последующие уровни такой структуры формируются исходя из оснований, по которым структурируются исследуемые характеристики (в соответствии с (15) число таких оснований равно N). Ввиду того, что каждая отдельная характеристика второго уровня данной структуры, как характеристика, отражающая эффективность мер предотвращения нарушения режима охраны, образуется на основе определенных соотношений между характеристиками функций, выполняемыми в процессе нарушения режима, и характеристиками функций, выполняемыми в процессе реагирования на такого рода угрозы, а характеристики каждого из элементов третьего и последующего уровней образуются на основе определенных соотношений между множествами характеристик предыдущих уровней, формируемая структура является иерархической, а ее элементы связаны между собой отношением «многие к одному». При этом процедура, реализующая процесс синтеза структуры характеристик, является композиционной.

В этих условиях очевидно, что последний композиционный уровень структуры характеристик представлен одной характеристикой (L_N=1), которую определим, как показатель эффективности мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта, осуществляемого путем блокирования информации в его КФЗ.

Исходя из того, что каждой (включая интегральную) характеристике множества (15) соответствует конкретная математическая модель для ее оценки следует ожидать, что структура множества математических моделей для оценки характеристик мер предотвращения нарушения режима охраны морского порта будет идентичной структуре множества (15).

Литература

1. Федеральный закон от 6 марта 2006 г. № 35-ФЗ «О противодействии терроризму».
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 января 1997 года № 14-р «Об утверждении перечня морских портов Российской Федерации, в которые разрешаются заходы судов и иных плавсредств с ядерными энергетическими установками и радиационными источниками» (с изменениями на 4 июля 2019 года). https://docs.cntd.ru/document/9035496.
3. Рекомендации Р 78.36.038-2013 «Построение и техническое обслуживание локально-вычислительной сети в пределах пункта централизованной охраны». М.: НИЦ «Охрана» МВД России, 2012. 27 с.
4. Безопасность операционных систем: учеб. пособие для студ. учреждений высш. образования; под ред. С.В. Скрыля. М.: Издательский центр «Академия», 2021. 256 с.
5. Белова Е.А., Ходырев Т.Б. Организация защиты информации в системах физической защиты критически важных объектов // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2013. С.142-144.
6. Ходырев Т.Б., Зарубин В.С. Некоторые подходы к оценке субъективных показателей качества защиты информации в автоматизированных комплексах физической защиты // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сборник статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием – Воронеж, 2015. Воронеж: Воронежский институт МЧС России, 2015. С.108-112.
7. Ходырев Т.Б., Зарубин С.В. К вопросу о выборе показателя эффективности мероприятий по обеспечению антитеррористической и противокриминальной защиты морских портов // Охрана, безопасность, связь – 2015. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Ч.2. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2015. С.218-222.
8. Ходырев Т.Б., Зарубин В.С. Методика формирования показателей эффективности информационных процессов в комплексе физической защиты в условиях обеспечения их защищенности // Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности: тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Минск: Академия МВД Республики Беларусь, 2012. С.227-228.
9. Методический подход к оценке своевременности реагирования на проникновение в охраняемую зону путем блокирования информации в комплексах физической защиты / С.В. Скрыль, С.А. Винокуров, Т.В. Мещерякова, Т.Б. Ходырев, В.Н. Асеев // Информатика: проблемы, методы, технологии: сборник материалов XX международной научно-методической конференции. Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации» (ООО «Вэлборн»), 2020. С.1173-1184.
10. Математические модели характеристик своевременности реагирования на проникновение в охраняемую зону при блокировании информации в комплексах физической защиты / С.В. Скрыль, С.А. Винокуров, Т.Б. Ходырев, А.В. Мазин, Д.А. Холод // Радиопромышленность. М.: АО «ЦНИИ «Электроника», 2020. Т.30, №3. С.127-134.
11. Зарубин В.С. О возможности оценки эффективности мероприятий по обеспечению антитеррористической и противокриминальной защиты объектов методами аналитического моделирования // Вестник МАДИ, 2008. №4(15). С.95-97.

УДК 681.3.01

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА ОЦИФРОВКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ЯРКОСТИ ОБЪЕКТА

ADAPTATION OF THE IMAGE DIGITIZATION ALGORITHM TO BRIGHTNESS VARIATIONS OF AN OBJECT

Илья Михайлович Гуков
ведущий программист-разработчик
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: gukov@iifmail.ru

Евгений Михайлович Мирошников
ведущий научный сотрудник
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: eugeniy.miroshnikov@gmail.ru

Андрей Константинович Никитин
инженер-программист
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: ex_nik@mail.ru

Виктор Германович Сухарев
ведущий научный сотрудник
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: victor.sukharev@gmail.com

Аннотация:
В статье изучаются возможности алгоритма оцифровки изображения, источником которого служат оптические физически неклонируемые функции (ОФНФ). Для оцифровки изображения применяется неравномерная сетка интервалов, отражающая изменение яркости изображения при перемещении объекта. Неравномерная сетка интервалов позволяет улучшить качество получаемых случайных последовательностей и их воспроизводимость при перемещении источника ОФНФ.
Ключевые слова: оптические физически неклонируемые функции, оцифровка изображения, случайная числовая последовательность, воспроизводимость.

Summary
The article examines the possibilities of an image digitization algorithm, the source of which is optical physically unclonable functions (OPUF). To digitize the image, an non-uniform grid of intervals is used, which reflects the change in the brightness of the image when the object is moved. The non-uniform grid of intervals makes it possible to improve the quality of the obtained random sequences and their reproducibility when moving the OPUF source.
Keywords: optical physically unclonable functions, image digitization, random numerical sequence, reproducibility.

Введение

В работе исследуется вопрос получения уникальной числовой последовательности из оптических физически неклонируемых функций (ФНФ).

Особенностью ФНФ является то, что они заключены в физическую структуру, состоящую из множества случайных компонентов, которую невозможно воспроизвести. Важной особенностью использования физически неклонируемых функций для генерации случайных параметров является отсутствие необходимости хранить полученные величины в памяти, поскольку их можно каждый раз заново воспроизводить [1].

Рассматривается спекл-структура, образованная при пропускании когерентного излучения через прозрачную среду с флуктуирующим в пространстве показателем преломления. Эта спекл-структура является функцией внутренней структуры ФНФ: источника ФНФ, угла падения луча, расстояния от источника излучения, угла рассеяния луча [3,5].

Постановка задачи

В задачах идентификации [4] важную роль играет качество случайных последовательностей, полученных при оцифровке изображения. Результат работы алгоритма оцифровки изображения зависит от набора параметров, а именно характеристики случайной последовательности: равномерность распределения чисел, коррелированность [3] и возможность воспроизведения взаимосвязаны.

Исследуемая оптическая система характеризовалась выраженным уменьшением интенсивности спекл-структуры по мере удаления от центра, что проявлялось на изображениях, полученных с помощью оптической камеры. Яркость изображения на различных участках изменялась неравномерно при перемещениях объекта.

Задачей работы являлось улучшение качества случайных последовательностей. Для этого требовалась провести выбор параметров оптической системы и адаптировать алгоритм к конкретной оптической системе. За основу взят алгоритм оцифровки изображения, описанный в работе [2].

Для экспериментов использовалась оптическая система, состоящая из лазерного модуля и цифровой камеры с разрешением 1920x1280 пикселей. При прохождении лазерного луча через полупрозрачный структурированный образец формировалось уникальное изображение, фиксируемое камерой, и передавалось в компьютер.

Описание процедуры адаптации алгоритма оцифровки

Для настройки оптической системы были использованы параметры: интенсивность излучения и время экспозиции оптической камеры.

На первом этапе минимизировалась шумовая составляющая изображений.

Увеличение выдержки камеры или интенсивности освещения приводит к увеличению доли пересвеченных пикселей – ячеек с максимальным для 8-битного изображения значением яркости 255. Высокая доля таких пикселей приводит к большим изменениям яркости отдельных блоков изображения при смещениях объектов, и это накладывало ограничения на выбор параметров оптической системы.

Пересвеченные пиксели находились преимущественно в центре изображения. Изображение в центре было значительно ярче, чем по краям.

Особенностью рассматриваемого алгоритма оцифровки [2] является то, что уменьшение числа диапазонов оцифровки, увеличение размера блока снижает долю ошибок, но стирает различия между различными объектами.

Для выбора параметров алгоритма были собраны изображения объекта при его перемещении в различных направлениях. Из набора изображений были отобраны изображения, перемещенные от эталонного не более чем на $d=20$ мкм.

Расчет расстояния от изображения до эталонного производился корреляционным методом. Смещения изображения по координатам dx и dy рассчитывались:

$$(dx, dy) = argmax(C(x,y)), \quad (1)$$

где $C(x,y)$ – взаимокорреляционная функция между эталоном и изображением.

В полученной выборке при $d<20$ мкм, максимальное отклонение яркости блока от средней величины в выборке может быть аппроксимировано линейной функцией от яркости блока, что представлено на *рисунке 1*.

При одинаковой средней яркости изображений для объектов может применяться аппроксимация одной и той же функцией. В совокупности для различных объектов с вероятностью 0.999925 выполняется неравенство:

$$|Br(i,j)-M(Br(i,j))| < 0.075\ Br(i,j)+2.0, \quad (2)$$

где $Br(i,j)$ – среднее значение яркости пикселей в блоке $(i\ j)$ в k-м изображении;
$M(Br(i,j))$ – среднее значение яркости пикселей в блоке $(i\ j)$ по совокупности всех изображений объекта.

При увеличении максимального смещения d, а также при увеличении яркости угол наклона растет. При большой доле пересвеченных пискелей зависимость перестает быть нелинейной.

При использовании для оцифровки одинаковых интервалов [2] порог изменения яркости, обеспечивающий верификацию элемента

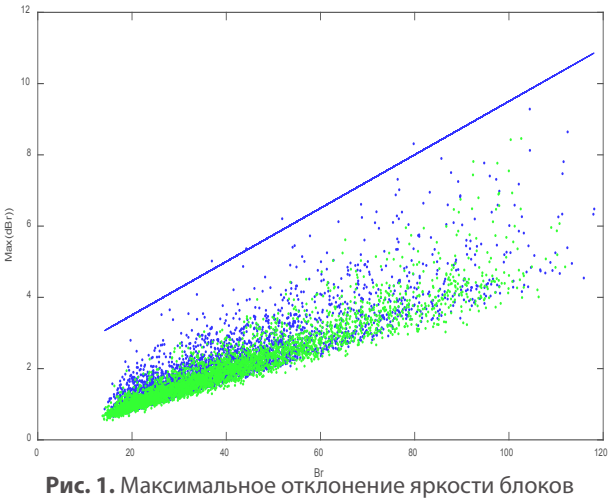


Рис. 1. Максимальное отклонение яркости блоков от средней величины в выборке $|Br(i,j)-M(Br(i,j))|$ для различных образцов при смещении до 20 мкм и аппроксимация $0.075\ Br(i,j)+2.0$

случайной последовательности, постоянный. При высоком пороговом значении увеличивается вероятность подделки элемента случайной последовательности. Блоки, вариация яркости которых меньше порогового значения, будут верифицированы в большом диапазоне изменений яркости. При низком пороговом значении увеличивается доля ошибок верификации случайной последовательности. Блоки, вариация яркости которых больше порогового значения не будут верифицированы.

Предлагается перейти к неравномерной сетке интервалов оцифровки таким образом, что порог изменения яркости при верификации по выражениям (6-7) согласуется с изменением яркости в выборке. В силу неравенства (2) порог изменения яркости может быть аппроксимирован величиной:

$$0.075\, x_k + 2.0, \quad (3)$$

где x_k – яркость блока при инициализации (4-5).

Работа алгоритма с неравными интервалами оцифровки описывается выражениями (4-7). Входной диапазон значений 0..255 разбивается на d интервалов точками $Q_1=0..Q_{d+1}=255.1..d$ – выходной диапазон значений.

I этап. Инициализация заключается в получении номера шкалы $B_{k=1..2}$ и кодового значения $V_k=1..d$ по значению яркости x_k.

При $Q_j<x_k<=(Q_j+Q_{j+1})/2, 0<x_k<=Q_{1/2}$,

$$B_k = 1,\ V_k = j. \quad (4)$$

При $(Q_j+Q_{j+1})/2<x_k<=Q_{j+1}$,

$$B_k=2,\ V_k=j,\ j=1,d. \quad (5)$$

II этап. Верификация заключается в получении кодового значения V_k по значению яркости y_k при определенном номере шкалы B_k.

При $B_k=1$ и $0<y_k<=3Q_2/4$, $V_k=1$,

$$B_k=1 \text{ и } (Q_{j-1}+3Q_j)/4 <y_k<=(Q_j+3Q_{j+1})/4,\ V_k=j. \quad (6)$$

При $B_k=2$ и $0<y_k<=(3Q_2+Q_3)/4$, $V_k=1$,

$$(3Q_j+Q_{j+1})/4<y_k<=(3Q_{j+1}+Q_{j+2})/4,$$

$$V_k=j, , j=2…d-1, (3Q_d+Q_{d+1})/4<y_k,\ V_k=d. \quad (7)$$

Определим из (4-7) порог увеличения и уменьшения яркости для 1 и 2 шкалы, при котором возможно безошибочно воспроизвести элементы случайной последовательности:

$$\Delta_{l1}=Q_j-(3Q_j+Q_{j-1})/4=(Q_j-Q_{j-1})/4,$$

$$\Delta_{j2} = \Delta_{u1} = (Q_{j+1} - Q_j)/4, \quad (8)$$

$$\Delta_{u2} = (Q_{j+2} - Q_{j+1})/4,$$

где Δ_1^{l1}, Δ_1^{l}, Δ_2^{l1}, Δ_2^{l} допустимое увеличение и уменьшение яркости блоков, отнесенной к первой или ко второй шкале оцифровки.

Запишем неравенство (2) в общем виде:

$$|Br(i,j) – M(Br(i,j))|<k\, Br(i,j) + b. \quad (9)$$

Значение яркости блока dBr расположено ниже порогового значения (*рисунок 2*), если выполнено неравенство:

$$k(Q_{j+1}+Q_j)/2+b<\Delta_{2j}^{l} \text{ или}$$

$$k(Q_{j+1}+Q_j)/2+b\le(Q_{j+1}-Q_j)/4. \quad (10)$$

Выразим условие воспроизводимости случайной последовательности:

$$Q_{j+1}=((1+2k)/(1-2k))Q_j+(4b/(1-2k)). \quad (11)$$

В случае равенства случайные последовательности будут иметь наибольшую энтропию.

Рекуррентное соотношение (11) используем для определения границ интервалов для оцифровки.

В качестве $Q_1=0$ возьмем минимальное значение яркости блоков $Q_1=8,0$.

Далее при $k=0.075$, $b=2.5$ получаем: $Q_2=20,235$, $Q_3=36,789$, $Q_3=59,185$, $Q_4=89,486$, $Q_5=130,481$, $Q_6=185,944$, $Q_7=255$.

Результаты

Таким образом, получена воспроизводимая случайная последовательность с достаточным количеством случайных блоков. Распределение оцифрованных значений показано на *рисунке 3*.

Гистограмма распределения значений слу-

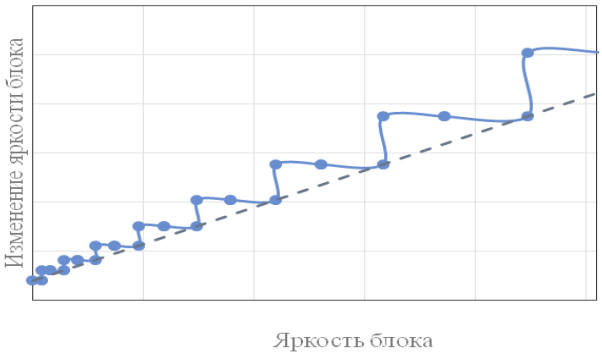


Рис. 2. Максимальное отклонение яркости от средней по выборке (пунктир) и пороговое изменение яркости, допускаемое алгоритмом оцифровки в зависимости от яркости блока

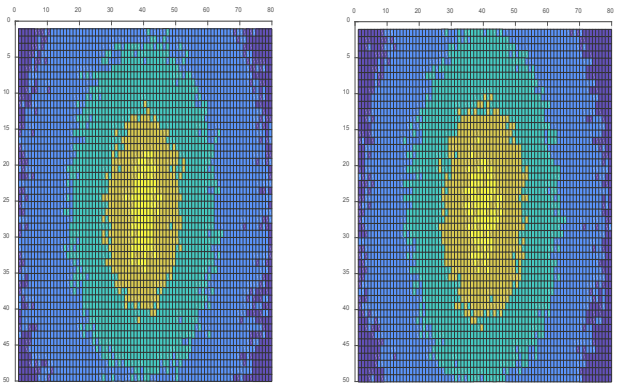


Рис. 3. Диаграммы оцифрованных значений яркости изображений, полученных из различных образцов

чайной последовательности совпадает с долей блоков в соответствующих диапазонах оцифровки и приведена на *рисунке 4*.

Процедура апробирована на двух оптических системах и рассмотрена на *рисунке 5*.

В первой рассмотренной ранее системе, яркость центральной части изображения была выше, чем по краям.

Во второй оптической системе, распределение яркости изображения было более равномерным. В то же время из-за большей вариации яркости блоков затрудняется выбор аппроксимирующей кривой. Значения Max(dBr) описываются уравнением 20+0.5 Br, и знаменатель (11) обращается в 0. Аппроксимировать Max(dBr) можно выбросив большее число точек, где процедура адаптации в этом случае менее эффективна.

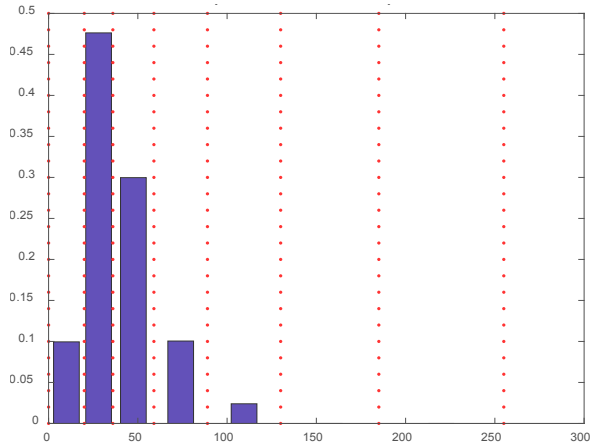


Рис. 4. Доля значений яркости, находящихся в различных диапазонах оцифровки

Заключение

Описана процедура адаптации алгоритма оцифровки, который служит для получения уникальной информации из изображения. Получена воспроизводимая случайная последовательность с достаточном количеством случайных блоков, которая может применяться для решения задачи идентификации объекта.

Применение алгоритма оцифровки с неравномерной сеткой интервалов позволяет улучшить качество случайных последовательностей и их воспроизводимость при смещениях объекта. Границы интервалов при оцифровке можно определить из рекуррентных соотношений, аналогичных (10) и (11) также в случае нелинейной зависимости или рассчитать последовательно по числовым значениям, если правая часть (2) не задается аналитически.

Литература

1. Бельский В.С., Чижов И.В., Чичаева А.А., Шишкин В.А. Физически неклонируемые функции в криптографии // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. Vol. 8, no.10. 2020.
2. Никитин А.К., Кукин Н.С. Извлечение уникальной информации из различных изображений объекта в одних и тех же условиях // Известия Института инженерной физики, 2016. №4(42). С.32-35.
3. J.W.Goodman. Statistical Properties of Laser Speckle Pattern // J.C. Dainty. Laser Speckle and Related Phenomena / Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, Germany, 1975. Pp. 9-77.
4. R. Maes Physically Unclonable Functions: Constructions, Properties and Applications –Ph.D, Thesis/ Katholieke Universiteit Leuven, 2012.
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/PUF-PUF.

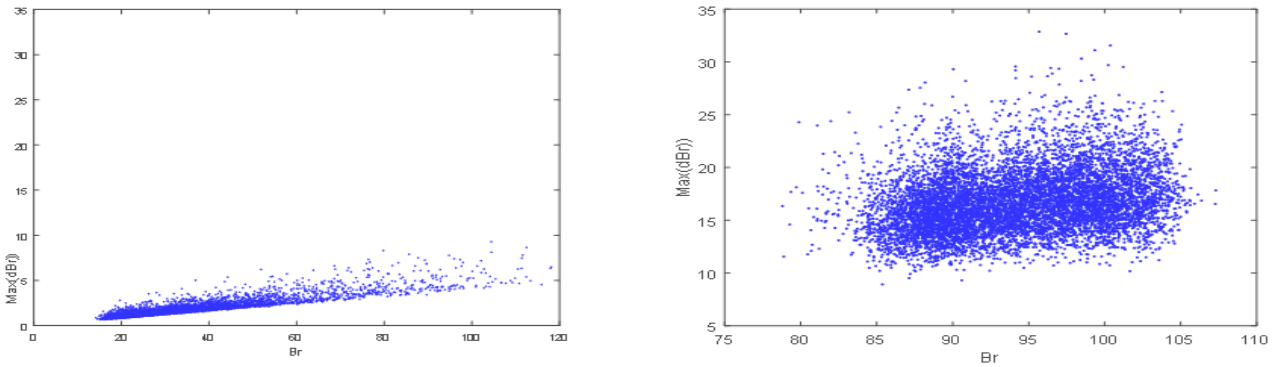
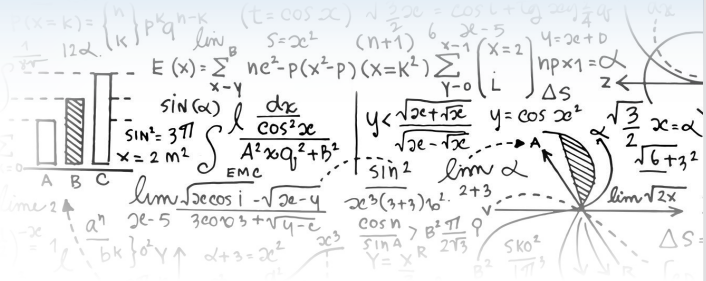


Рис. 5. Максимальное отклонение яркости блоков от средней величины в выборке в различных оптических системах (слева система 1, справа система 2 (рассеянный свет)). Смещение объектов не более 20 мкм

УДК 519.725

МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

METHODICAL APPARATUS FOR CORRECTING ERRORS WHEN PERFORMING ARITHMETIC OPERATIONS



Александр Алексеевич Павлов
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (4967) 72-19-11
E-mail: pavlov_iif@mail.ru

Юрий Александрович Романенко
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)

Игорь Игоревич Корнеев
кандидат технических наук, доцент
начальник кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Олег Фиридинович Пашаев
кандидат технических наук
заместитель начальника кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Максим Игоревич Макеев
научный сотрудник
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Фёдор Алексеевич Павлов
научный сотрудник
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Александр Юрьевич Романенко
кандидат технических наук
научный сотрудник
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-13-71

Аннотация:
Обоснована целесообразность использования алгебраических линейных кодов для обнаружения и коррекции ошибок в специализированных ЭВМ, позволяющих, по отношению к мажоритарному методу и методу дублирования, существенно сократить аппаратурные затраты и использовать для этих целей 10-30% резервного оборудования. Установлена возможность использования корректирующих кодов для исправления ошибок процессора при обработке информации. Рассмотрен пример использования кода Хемминга для коррекции ошибок процессора при выполнении операции сложения. Показано, что существующие алгебраические коды не могут быть использованы для контроля арифметических операций вычитания и деления, так как не позволяют контролировать логическую операцию инвертирования, необходимую для представления отрицательного числа в дополнительном коде. Разработан алгоритм построения кода, позволяющего контролировать логическую операцию отрицания и, следовательно, представления отрицательного числа в дополнительном коде. Определены параметры разработанного кода. Рассмотрен пример использования предлагаемого кода для контроля арифметической операции вычитания.

Ключевые слова: алгебраический линейный код, дополнительный код, операция инвертирования, операция вычитания.

Summary
The expediency of using algebraic linear codes for detecting and correcting errors in specialized computers is substantiated, which allows, in relation to the majority method and the duplication method, to significantly reduce hardware costs and use 10-30% of reserve equipment for these purposes. The possibility of using corrective codes to correct processor errors during information processing has been established. An example of using a Hamming code to correct processor errors during an addition operation is considered. It is shown that the existing algebraic codes cannot be used to control the arithmetic operations of subtraction and division, since they do not allow controlling the logical inversion operation necessary to represent a negative number in an additional code. An algorithm for constructing a code has been developed that makes it possible to control the logical operation of negation and, consequently, the representation of a negative number in an additional code. The parameters of the developed code are determined. An example of using the proposed code to control the arithmetic operation of subtraction is considered.

Keywords: algebraic linear code, additional code, inversion operation, subtraction operation.

Введение

Современные развитие информационных технологий характеризуется широким использованием специализированных ЭВМ (СЭВМ).

Возникновение ошибок и отказов в данных системах приводит к аварийным ситуациям, а в ряде случаев и к катастрофическим последствиям, поэтому существует необходимость разработки эффективных методов их обнаружения и коррекции.

Обнаружению и коррекции ошибок в устройствах хранения информации посвящены работы [1-6]. Анализ работ в данной области показал, что наиболее эффективным методом обнаружения и коррекции ошибок являются корректирующие коды с синдромным декодированием, позволяющие решать данную задачу, используя для этих целей 10-30% аппаратурных затрат.

В работах [7-10] проведены исследования в области использования кодов для коррекции ошибок в арифметико-логическом устройстве (АЛУ) процессора, за исключением логической операции отрицания.

Важными арифметическими операциями АЛУ являются операции умножения и деления.

Операция умножения осуществляется путем многократной операции сложения множимого, определяемой значением множителя.

Операция деления осуществляется путем многократного вычитания делителя из делимого (сложения делимого с делителем, представленным в дополнительном коде).

Для представления делителя в дополнительном коде, значения информационных разрядов, вначале инвертируется, а к полученному результату прибавляется единица, однако, существующие алгебраические коды не позволяют обнаруживать и корректировать ошибки при выполнении логической операции инвертирования.

Таким образом, существует необходимость разработки кода, обнаруживающего и корректирующего ошибки при выполнении арифметической операции вычитания.

Разработка кода, корректирующего работу процессора при выполнении арифметической операции вычитания

Для коррекции одиночных ошибок широко используется код с минимальным кодовым расстоянием $d=3$, требующим $r=log_2(n+1)$ – проверочных разрядов, где $n=k+r$, k – число информационных разрядов.

Для контроля арифметической операции сложения, значения проверочных разрядов формируются путем сложения по *mod* 2 значений проверочных разрядов слагаемых с значением поправки, поученной в результате кодирования функции переносов [7-8].

Функция переносов формируется следующим образом:

$$s_1 = 0;$$
$$s_{2=} = y_{1A} \wedge y_{1B};$$
$$s_3 = y_{2A} \wedge y_{2B} \vee (y_{2A} \vee y_{2B}) \wedge s_2;$$
$$s_4 = y_{3A} \wedge y_{3B} \vee (y_{3A} \vee y_{3B}) \wedge s_3;$$
$$s_5 = y_{4A} \wedge y_{4B} \vee (y_{4A} \vee y_{4B}) \wedge s_4;$$
$$\ldots$$
$$s_{12} = y_{11A} \wedge y_{11B} \vee (y_{11A} \vee y_{11B}) \wedge s_{11},$$

где y_{iA}, y_{iB} – значения информационных разрядов слагаемых чисел A и B.

Пример 1. Допустим, имеется код Хемминга, представленный проверочной матрицей H:

$$H = \begin{vmatrix} r_1 & r_2 & y_1 & r_3 & y_2 & y_3 & y_4 & r_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_9 & y_{10} & y_{11} & r_5 & y_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Значения проверочных разрядов имеют вид:

$r_1=y_1 \oplus y_2 \oplus y_4 \oplus y_5 \oplus y_7 \oplus y_9 \oplus y_{11} \oplus y_{12}$;

$r_2=y_1 \oplus y_3 \oplus y_4 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12}$;

$r_3=y_2 \oplus y_3 \oplus y_4 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11}$;

$r_4=y_5 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11}$;

$r_5=y_{12}$.

Алгоритм использования кода Хемминга для контроля операции сложения заключается в следующем.

При суммировании двух 12-ти разрядных кодовых наборов получим результат:

$$\begin{array}{rll} & 000000000111 & 00000 \\ + & 000000001100 & \oplus\ 00001 \\ \hline S = & 000000010011 & 00001 \end{array}$$

«Правильные» значения проверочных разрядов должны иметь значения: 01111, т.е. необходимо сформировать поправку к полученному значению проверочных разрядов.

С этой целью формируется функция переносов:

$$f=000000011000.$$

При кодировании функции переносов кодом Хемминга получим значение поправки: $p=01110$.

Поразрядное сложения по *mod*2 полученных значений проверочных разрядов со значением поправки, позволяет получить значение проверочных разрядов: 01111, соответствующих полученной сумме.

При выполнении арифметической операции вычитания, для представления делителя в дополнительном коде, значения информационных

разрядов, в начале, инвертируется, а к полученному результату прибавляется единица.

В этом случае, возникает необходимость контроля выполнения логической операции отрицания.

Свойство 1. Для совершенных кодов Хемминга, при инвертировании информационных разрядов кодового набора, значения проверочных разрядов не соответствует полученному результату.

Например, при инвертировании информационных разрядов кодового набора

$$A_K = 000000000111\ 00000$$

получим инверсный кодовый набор

$$A_{KИ} = 111111111000\ 00000,$$

для которого проверочные разряды должны иметь значения: 11100.

Утверждение 1. Для совершенных алгебраических линейных кодов не существует правила формирования значений проверочных разрядов для контроля арифметической операции вычитания.

Для контроля логической операции отрицания (формирования дополнительного кода) предлагается использовать код, алгоритм построения которого включает следующие этапы.

1. Дан двоичный набор, содержащий k-информационных разряда. Требуется построить код с минимальным кодовым расстоянием $d=3$ (исключающий повторение столбцов в проверочной матрице), обеспечивающий обнаружение и коррекцию одиночных ошибок при выполнении логической операции инвертирования, для проверочных разрядов r_d которого выполняется условие: $r_d=r$.

2. Информационные разряды разбиваются на блоки информации, по три разряда в каждом блоке.

3. Для первых трех информационных разрядов сформируем три основные проверки:

$$r_1 = x_1 \oplus x_2;$$
$$r_2 = x_2 \oplus x_3;$$
$$r_3 = x_1 \oplus x_3,$$

которые могут быть описаны первой проверочной матрицей:

$$H_1 = \begin{vmatrix} y_3 & y_2 & y_1 & r_3 & r_2 & r_1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

4. Строится вторая проверочная матрица для первых шести информационных разрядов, которая в свой состав информационные столбцы двух идентичных проверочных матриц (с учетом номеров соответствующих информационных разрядов), построенных для трех информационных разрядов и содержит первый дополнительный разряд, реализующий проверку: $r_4 = y_1 \oplus y_2 \oplus y_3$, в результате получим проверочную матрицу:

$$H_2 = \begin{vmatrix} y_6 & y_5 & y_4 & y_3 & y_2 & y_1 & r_4 & r_3 & r_2 & r_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

у которой четвертая (верхняя строка проверочной матрицы), для первых трех разрядов содержит единичные значения, а для четвертого, пятого и шестого разрядов – нулевые значения. Для шести информационных разрядов имеем проверки:

$$r_1 = y_1 \oplus y_2 \oplus y_4 \oplus y_5;$$
$$r_2 = y_2 \oplus y_3 \oplus y_5 \oplus y_6;$$
$$r_3 = y_1 \oplus y_3 \oplus y_4 \oplus y_6;$$
$$r_4 = y_1 \oplus y_2 \oplus y_3.$$

Строится третья проверочная матрица для 12-ти информационных разрядов, которая, которая включает в свой состав информационные столбцы двух идентичных проверочных матриц, построенных для шести информационных разрядов и, содержит второй дополнительный разряд, реализующий проверку:

$$r_5 = y_7 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12},$$

в результате получим проверочную матрицу:

$$H_3 = \begin{vmatrix} y_{12} & y_{11} & y_{10} & y_9 & y_8 & y_7 & y_6 & y_5 & y_4 & y_3 & y_2 & y_1 & r_5 & r_4 & r_3 & r_2 & r_1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

у которой пятая (верхняя строка проверочной матрицы), для первых 6-ти разрядов содержит нулевые значения, а с 7-го по 12-й разряд – единичные значения.

5. Строится четвертая проверочная матрица для 24-ти информационных разрядов, которая включает в свой состав информационные столбцы двух идентичных проверочных матриц, построенных для 12 информационных разрядов и содержит третий дополнительный разряд проверочной матрицы, у которой шестая (верхняя строка проверочной матрицы), для первых 12-ти разрядов содержит единичные значения, а с 13-го по 24-й разряд – нулевые значения.

6. Аналогичным образом осуществляется построение проверочных матриц для большего числа информационных разрядов, до получения проверочной матрицы, содержащей $k+r_d$ столбцов, которая описывает построение корректирующего кода с минимальным кодовым расстоянием $d=3$ и

у которого число проверочных разрядов $r=r_d$.

Разработанный код обладает следующим свойством.

Свойство 2. При выполнении логической операции отрицания относительно информационных разрядов, значения исходных проверочных разрядов соответствует полученному результату. Рассмотрим код, построенный для 12-ти информационных разрядов (проверочная матрица $H_э$), имеющий пять проверок:

$$r_1 = y_1 \oplus y_2 \oplus y_4 \oplus y_5 \oplus y_7 \oplus y_8 \oplus y_{10} \oplus y_{11};$$
$$r_2 = y_2 \oplus y_3 \oplus y_5 \oplus y_6 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{11} \oplus y_{12};$$
$$r_3 = y_1 \oplus y_3 \oplus y_4 \oplus y_6 \oplus y_7 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{12};$$
$$r_4 = y_1 \oplus y_2 \oplus y_3 \oplus y_7 \oplus y_8 \oplus y_9;$$
$$r_5 = y_7 \oplus y_8 \oplus y_9 \oplus y_{10} \oplus y_{11} \oplus y_{12},$$

которые позволяет обнаруживать и корректировать одиночные ошибки.

Значения синдромов ошибок для данного кода представлены в *таблице 1*.

Пример 2. Допустим, имеем кодовый набор:

$$B_К = 00000001100\ \ 01011.$$

При выполнении операции инвертирования получим кодовый набор:

$$B_{КИ} = 111111110011\ \ 01011.$$

Проверочные разряды инверсного кодового набора соответствуют полученному результату.

Пример 3. Допустим, требуется осуществить вычитание числа

$$B_К = 0{,}000000001100\ \ 01011$$

из числа

$$A_К = 0{,}000000001111\ \ 01101.$$

Таблица 1

Значения синдромов ошибок

Номер ошибочного разряда	Значение синдромов				
	r_5	r_4	r_3	r_2	r_1
y_1	0	1	1	0	1
y_2	0	1	0	1	1
y_3	0	1	1	1	0
y_4	0	0	1	0	1
y_5	0	0	0	1	1
y_6	0	0	1	1	0
y_7	1	1	1	0	1
y_8	1	1	0	1	1
y_9	1	1	1	1	0
y_{10}	1	0	1	0	1
y_{11}	1	0	0	1	1
y_{12}	1	0	1	1	0
r_1	0	0	0	0	1
r_2	0	0	0	1	0
r_3	0	0	1	0	0
r_4	0	1	0	0	0
r_5	1	0	0	0	0

Для десятичной системы счисления: вычитание числа двенадцать из числа пятнадцать.

Для формирования дополнительного кода прибавим единицу к младшему информационному разряду кодового набора $B_{КИ}$:

$$\begin{array}{rr} 1{,}111111110011 & 01011 \\ +\ 0{,}000000000001 & \oplus\ 01101 \\ \hline 1{,}111111110100 & 00110 \end{array}$$

Единица слева от запятой указывает на отрицательное значение числа.

Функция переносов имеет значение: $f=000000000110$, а значение поправки: $p=00101$. Кодовый набор в дополнительном коде имеет значение:

$$B_{КД} = 1{,}111111110100\ 00011.$$

Осуществим сложение (вычитание) числа $B_К$ с числом $A_К$.

$$\begin{array}{rr} 0{,}000000001111 & 01101 \\ +\ 1{,}111111110100 & \oplus\ 00011 \\ \hline 0{,}000000000011 & 01110. \end{array}$$

Получим число три в десятичной системе счисления.

Функция переносов для данной операции имеет значение:

$$P_П = 111111111000,$$

а значение поправки: $p=01000$.

В итоге получим результат:

$$0{,}000000000011\ \ 00110,$$

у которого значения проверочных разрядов соответствуют полученной сумме.

Формирование синдрома ошибок осуществляется поразрядным сложением по *mod*2 значений проверочных разрядов, сформированных от полученной суммы со значениями проверочных разрядов, сформированными относительно проверочных разрядов слагаемых.

Заключение

В результате проведенных исследований разработан код для обнаружения и коррекции ошибок АЛУ процессора специализированных ЭВМ.

В отличие от методов использования кодов для контроля арифметической операции сложения, предлагаемый код позволяет контролировать формирование дополнительного кода для обнаружения и коррекции ошибок при выполнении операции вычитания (деления).

Использование предлагаемого метода позволяет существенно сократить аппаратурные затраты на обнаружение и коррекцию ошибок в СЭВМ.

Литература

1. Гребешков А.Ю. Микропроцессорные системы и программное обеспечение в средствах связи. Самара: ПГУТИ, 2009. 298 с.
2. Щербаков Н.С. Самокорректирующиеся дискретные устройства. М.: Машиностроение, 1975. 214 с.
3. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.
4. Hagbae Kim, Kang G. Shin Evaluation of Fault Tolerance Latency from Real-Time Application`s Perspectives // IEEE Transactions on computers, January 2000. Vol.49. №1. Pp.55-64.
5. Prager K., Vahey M., Farwell W., Whitney J., Lieb J. A fault tolerant signal processing computer // Dependable Systems and Networks, 2000. DSN 2000. Proceedings International Conference on. 2000. Pp.169-174.
6. Naseer R., Draper J. Parallel Double Error Correcting Code Design to Mitigate Multi-Bit Upsets in SRAMs // Information Sciences Institute University of Southern California, IEEE Trans Device. Mater 2008. Vol.6. Pp.222-225.
7. Павлов А.А., Павлов П.А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В. Контроль процессора в автоматизированных измерительных системах // Измерительная техника, 2011. №2. С.12-15.
8. Павлов А.А., Волков В.З., Царьков А.Н., Корсунский Д.А. Обнаружение ошибок в арифметико-логических устройствах специализированных ЭВМ информационно-измерительных систем // Измерительная техника, 2018. №6. С.35-40.
9. Павлов А.А., Волков В.З., Царьков А.Н., Корсунский Д.А. Методический подход повышения достоверности функционирования устройств обработки информации с минимальной информационной и аппаратурной избыточностью // Приборы и системы: управление, контроль, диагностика, 2018. №6. С.30-37
10. Павлов А.А., Царьков А.Н., Долговязов А.В., Волков В.З., Корсунский Д.А., Гусев А.В. Метод коррекции ошибок в арифметико-логических устройствах процессоров информационно-измерительных систем // Измерительная техника, 2019. №4. С.30-37.

УДК 004

МЕТАГРАММАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

THE METAGRAMMARSC APPROACH OF HIERARCHY ANALYSIS AND THE SPECIFICS OF ITS APPLICATION IN THE CREATION OF INFORMATION SECURITY SYSTEMS FOR LOW–POWER NUCLEAR POWER PLANTS

Дмитрий Вячеславович Смирнов
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, доцент
действительный член АИН
профессор кафедры
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Первый Вице-президент
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: dv_smr@iifmail.ru

Олег Игоревич Атакищев
почетный работник науки и высоких технологий РФ
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального директора
по специальным проектам
АНО «Институт инженерной физики»
E-mail: aoi007@mail.ru

Вадим Геннадьевич Грибунин
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, доцент
главный научный сотрудник
АНО «Институт инженерной физики»

Михаил Николаевич Лысачев
генеральный директор
АО «Консист – ОС»
Адрес: 115432, Москва,
Проектируемый проезд №4062, д. 6, стр. 25

Аннотация:
Рассмотрены особенности и применение предложенного метаграмматического подхода анализа иерархий при синтезе сложных систем обеспечения информационной безопасности атомных станций малой мощности.
Ключевые слова: системы обеспечения информационной безопасности, атомные станции малой мощности, метод анализа иерархий Саати, метаграмматики, метаграмматический подход анализа иерархий.

Summary
The features and application of the proposed metagrammar approach of hierarchy analysis in the synthesis of complex information security systems for low-power nuclear power plants are considered.
Keywords: information security systems, low-power nuclear power plants, Saati hierarchy analysis method, metagrammars, metagrammars approach to hierarchy analysis.

На современном этапе развития атомной энергетики в РФ и наиболее развитых станах мира актуализируется комплекс проблем создания нового поколения систем обеспечения информационной безопасности (СОИБ) атомных электростанций (АЭС) малой мощности (ММ) [1-4].

Решение данного комплекса проблем должно учитывать ужесточение требований к подобным системам, их структурно-функциональную сложность, наличие жестких оперативно-технических и ресурсных ограничений при их создании и эксплуатации.

В частности, при решении данного комплекса проблем, должны учитываться следующие факторы:

- ужесточение требований к СОИБ по эффективности нейтрализации постоянно нарастающего множества угроз информационной безопасности;
- повышение требований по надежности и референтности создаваемых СОИБ и входящих в них средств обеспечения информационной безопасности (СрОИБ) (в том числе и в рамках референтной архитектуры «IT4IT») [1];
- наличие гораздо более жестких (по сравнению с «обычными» АЭС) нормативных, ресурс-

ных (организационно-кадровых, технических, финансовых, временныхи др.) ограничений;

- непроработанностью ряда специфических вопросов сертификации СОИБ и ряда входящих в них СрОИБ нового поколения;
- необходимости применения масштабируемых и тиражируемых решений для реализации возможности дальнейшей модификации СОИБ, расширения их архитектуры, адаптации к новым условиям эксплуатации;
- возможности оперативного эволюционного наращивания возможностей СОИБ АЭС ММ;
- интеграции СОИБ АЭС ММ и их элементов в единую систему обеспечения информационной безопасности ГК Росатом.

Данные факторы определяют необходимость решения рассматриваемого комплекса сложных в организационном и научно-техническом аспектах проблем на путях создания нового поколения высокоэффективных СОИБ для АЭС ММ.

Решение данного комплекса проблем с учетом рассмотренных, зачастую взаимосвязанных и противоречивых факторов, в условиях высокой неопределенности относительно перспективных угроз информационной безопасности (ИБ), может быть достигнуто путем создания и развития нового подхода структурно- параметрического синтеза сложноструктурированных СОИБ, позволяющего учесть высокую структурную сложность СОИБ АЭС ММ, возможность учета неопределенности при их синтезе, расширение их архитектуры, динамическую адаптацию (модификацию и реконфигурацию) к конкретным (обычно – труднодоступным) местам и новым условиям эксплуатации.

В данной статье с целью решения ключевого элемента данного комплекса проблем – структурно-параметрического синтеза сложноструктурированных СОИБ АЭС ММ в условиях неопределенности ряда рассмотренных факторов, предлагается объединить метаграмматический подход к структурно-параметрическому синтезу сложноструктурированных организационно-технических систем [6-11], и метод (подход) анализа иерархий Саати [12-19], позволяющий учесть нечеткие факторы при создании перспективных систем различного назначения.

В дальнейшем подобный подход и реализованные в его рамках методы и методики будем называть метаграмматическим анализом иерархий (МГАИ).

Формальной основой МГАИ является использование процедур структурно- параметрического синтеза вариантов создаваемой СОИБ АЭС ММ на основе метаграмматик (МГ) различных классов [6-11], при этом, для анализа получающихся вариантов СЗИ используется нечеткая многоуровневая модификация метода анализа иерархий (МАИ) Саати [19].

Для сложноструктурированных случаев и большого числа элементов (факторов) МАИ, МГ также может использоваться как метаописание системы правил генерации взаимосвязей целей (деревьев целей), критериев, альтернатив и других факторов, учитываемых при синтезе СОИБ.

Определение, классификация, свойства отдельных классов МГ рассмотрены в работе [9], при этом известные МГ с линейными, многоуровневыми (иерархическими), сетевыми правилами композиции являются отдельными подклассами МГ с соответствующими правилами согласования и интерпретациями.

С целью учета ряда особенностей структур СОИБ в МГ могут системно объединяться (по правилам согласования) модифицированные грамматики (типа атрибутных, нечетких, стохастических, программных, индексных, предшествования, управляемого предшествования, коллегиально-иерархические, β-управляемого предшествования и т.п.).

В общем случае МГ представляет собой грамматическую систему связанных по правилам согласования грамматик:

$$G = \langle \{G_i\}, W \rangle,$$

где $\{G_i\}$ – множество используемых грамматик различного вида;

W – схема метаграмматики, определяющая набор правил согласования (определённого рода отображений) между грамматиками (элементами грамматик) множества $\{G_i\}$.

В отличие от обычных грамматик по Хомскому [9], МГ задают правила формирования и выбора вариантов создаваемых СОИБ, где отдельные грамматики задают правила формирования и выбора вариантов отдельных подсистем и СрОИБ, зачастую с привязкой по правилам согласования к правилам формирования общей структуры СОИБ. В настоящее время в работах авторов и других сотрудников АНО «Институт инженерной физики» и АО «Консист – ОС» предложено большое число различных подклассов МГ, позволяющих учитывать специфику решаемых задач структурно-параметрического синтеза сложноструктурированных систем обеспечения информационной безопасности различных классов.

В то же время учет отдельных факторов неопределенности при структурно-параметрическом синтезе СОИБ АЭС ММ был выполнен в общем постановочном плане.

В данной статье для учета факторов неопределенности в рамках МГАИ предлагается на отдельных этапах метаграмматических методов

синтеза учитывать соответствующие подцели, частные критерии и другие факторы, важные с точки зрения генерации и выбора вариантов.

Учет данных факторов может проводиться путем:

- добавления в грамматики и правила согласования МГ атрибутной компоненты, отражающей правила вычисления параметров (атрибутов) общих и частных целей, проверку критериев и учет других факторов в соответствии с МАИ;
- добавления в схемы грамматик (продукции) и правила согласования стохастических и нечетких мер для учета объективных и субъективных предпочтений на множествах продукций (правил вывода);
- декомпозиции в соответствии со схемой МГ общей иерархии СОИБ для МАИ и ее продукционной генерации по метаправилам МГ;
- проведения генерации и выбора нескольких близких по показателям рациональных вариантов структур вариантов СОИБ с последующим их попарным сравнением в соответствии с МАИ и выбором наилучшего из них.

Необходимо подчеркнуть, что в случае применения МГАИ генерация, анализ и выбор вариантов СОИБ могут выполняться одновременно («на проходе») с использованием совмещенных процедур построения дерева вывода, вычисления атрибутов, вероятностных или нечетких мер составных элементов (нетерминалов грамматик), соответствующих подсистемам и СОИБ в целом.

Для сложноструктурированных случаев с большим числом подцелей, критерием и других факторов по правилам отдельной грамматики, входящей в МГ, может проводится генерация структур целей, критериев, альтернативы и других рассматриваемых факторов, влияющие на выбор в соответствии с МАИ Саати. Эти сгенерированные структуры соответствуют различным вариантам схем Саати для МАИ и позволяют проводить генерацию на уровне опытного эксперта конкретных наборов целей (подцелей), критериев (связанных «наборов» частных критериев), структурно-увязанных альтернатив (правил генерации структурно-сложных альтернативных вариантов СОИБ и их подсистем различного уровня декомпозиции). Это соответствует применению МАИ для случаев большого числа целей, критериев, альтернатив. Например, в настоящее время сертифицировано для различных ведомств несколько тысяч СрОИБ. Если рассматривать число возможных структур, формируемых из них, даже с учетом правил, задающих ограничения на их взаимосвязи, число вариантов СОИБ разрастается по закону, близкому к экспоненциальному и задание для МАИ такого множества вариантов при реальной сложности СОИБ является трудноразрешимой задачей. В то же время применение МАИ совместно с МГ позволяет:

- за счет задания не самих структур СОИБ, а правил их рекурсивной генерации с помощью МГ моделировать в компактной форме множества вариантов правил формирования (модификации, структурной адаптации) сложных структур СОИБ, а также структур связанных с ними целей, критериев и т.п., необходимых для применения МАИ;
- использовать МАИ для нечеткого анализа и выбора в процессе генерации требуемых (рациональных, удовлетворяющих требованиям, конкурирующих близких по параметрам) вариантов СОИБ.

Рассмотрим в качестве примера вариант создания сложноструктурированной многоуровневой (со сложной иерархической схемой построения) СОИБ АЭС ММ.

В предложенном МГАИ для подобного случая с использованием МГ проводится рекурсивная генерация промежуточных вариантов структуры СОИБ, расчет унаследованных и синтезированных атрибутов, вычисление (при использовании) нечетких и стохастических мер нетерминалов грамматик, входящих в МГ. Для дальнейшего применения МАИ с помощью отдельных грамматик из МГ для сгенерированного промежуточного варианта формируется многоуровневая обобщенная модель нечеткого влияния на достижение обычно изменяющейся цели (подцели из дерева целей) СОИБ. При этом проводится учет большого количества внешних и внутренних факторов. Обобщенная модель нечеткого влияния рассматривается как объединение по правилам МГ моделей влияния внешних и внутренних факторов. Данные модели характеризуют достигнутое состояние (цели) для сгенерированных промежуточных альтернативных вариантов, влияние факторов на определение цели СОИБ и подсистем из ее состава в соответствии с уровнем МГ (рангом подсистемы СОИБ), базирующихся на теории функций подтверждения. Также учитывается влияние кортежа (множества) взаимосвязанных моделей, характеризующих структуру, поведение подсистем из состава СОИБ разного ранга и базирующихся на методе анализа иерархий [12], теории функций полезности [17].

Для данного случая [19] с использованием правил МГ в рамках МГАИ может быть сгенерирована обобщенная модель влияния на достижение m-ой цели СОИБ y_c-го уровня, большого числа факторов, определяющих допустимые правилами МГ модификации (разные «прошивки») подсистем СОИБ разного ранга. Данная

обобщенная модель может быть представлена в следующем виде (*рисунок 1*):

$$M^{(m,z)}_{y_c,k/\ldots/y_c=1,k}=\Big\langle\Big\{\Big(M_{y_c+1,y_c}(q^{j,m,z/m,z}_{y_c+1/y_c}),M^{(j,m,z(i))}_{y_c,k}\Big)\Big\},\Big\{\Big(M_{y_c,y_c-1}(q^{j,m,z(i)/j,m,z(i)}_{y_c,k/y_c-1,k}),$$

$$M^{(j,m,z(i)/j,m,z(i))}_{y_c,k/y_c-1,k}\Big)\Big\},\ldots\Big\{\Big(M_{y_c=2,y_c=1}(q^{j,m,z}),M^{(j,m,z(i)/j,m,z(i))}_{y_c=2,k/y_c=1,k}\Big)\Big\}\Big\rangle$$

$$\Big(M_{y_c=2,y_c=1}(q^{j,m,z(i)/j,m,z(i)}_{y_c=2,k/y_c=1,k}),M^{(j,m,z(i)/j,m,z(i))}_{y_c=2,k/y_c=1,k}\Big)-$$

частные модели, влияющие на определение возможной цели создаваемой СОИБ АЭС ММ ($y_c=1$)-го ранга с использованием грамматики первого уровня МГ.

Также в этом случае определяются значения факторов, характеризующие достижение цели разными модификациями подсистем из состава СОИБ в j-х условиях обстановки на местах эксплуатации подсистемы.

В данном случае

$$M_{y_c,y_c+1}(q^{m,z/m,z}_{y_c+1/y_c})=M(q^{m,z}_{y_c},q^{m,z/m,z}_{y_c,y_c+1},Q^{m,z/m,Z^*},Q^{m,z/m,G^*},q^{m,z/m,z,a-1}_{y_c}=$$

$$=\Big\langle\Big(q^{m,z}_{y_c},\beta^{m,z}_{y_c}\Big),\Big(q^{m,z/m,z}_{y_c/y_c+1},\beta^{m,z/m,z}_{y_c/y_c+1}\Big),(Q^{m,z/m,Z^*}_{y_c},\beta^{m,z/m,Z^*}_{y_c}),(Q^{m,z/m,G^*}_{y_c},\beta^{m,z/m,G^*}_{y_c}),$$

$$(q^{m,z/m,z,a-1}_{y_c},\beta^{m,z/m,z,a-1}_{y_c}),Q_{y_j},\xi_{y_c}(q^{m,z}_{y_c},q^{Z}_{y_c+1},Q^{Z^*}_{y_c},Q^{G^*}_{y_c},V_j)),$$

$$f((q^{m,z}_{y_c},\beta^{m,z}_{y_c}),q^{Z}_{y_c+1},Q^{Z^*}_{y_c+1},Q^{G^*}_{y_c},V_j,\xi_{y_c}(q^{m,z}_{y_c})\Big\rangle-$$

частная модель влияния внешних и внутренних факторов

$$M_{y_c,y_c+1}(q^{m,z/m,z}_{y_c+1/y_c})$$

на определение цели подсистемы СОИБ ($y_c=y\geq 2$)-го ранга ($C^{z,a}_{y_c}$). В данных обозначениях индекс j, является индексом модели, характеризующий принадлежность подсистем и СрОИБ j-м условиям.

По сути, это соответствует разбиению множества моделей для МАИ в соответствии с правилами МГ, на системно увязанное множество. В случае сетевых МГ, взаимосвязи носят сетевой характер в соответствии с правилами согласования МГ.

При подключении для синтеза метода анализа иерархий Саати, в данном случае, в соответствии с правилами порождения дерева целей из МГ декомпозируются множества целей подсистем СОИБ различного ранга, множества факторов и т.п., аналогично [7,8,19]. Подобная иерархия может быть представлена как система сгенерированных или в явном виде заданных иерархически связанных множеств целей, вариантов подсистем из состава СОИБ и т.п., рассмотренных на *рисунке 1*.

С использованием подобных моделей могут быть заданы цели (подцели) для подсистем разного ранга. В данном случае цель подсистемы СОИБ y_c-го ранга задается следующим образом:

$q^{m,z}_{y_c}$ – m-ая цель СОИБ y_c-го уровня (ранга) ($c^{z}_{y_c}$), определяемая на основании целей достигаемых СОИБ $c^{z}_{y_c+1}$, с альтернативными вариантами сгенерированных подсистем;

$\beta^{m,z}_{y_c}$ – степень уверенности в определении цели $q^{m,z}_{y_c}$ на основании внешних и внутренних факторов;

$q^{m,i(z)/m,i(z)}_{y_c,y_c+1}(q^{m,z/m,z,a-1}_{y_c})$ – m-ая цель вышестоящей над подсистемой СОИБ подсистемы (y_c+1)-го уровня (ранга) $C^{z}_{y_c+1}$, влияющая на достижение цели функционирования СОИБ С $c^{z}_{y_c}$;

$c^{z}_{y_c+1}$ – вариант сгенерированной по правилам МГ подсистемы, в состав которой входит сгенерированная с помощью подчиненной по правилам согласования МГ грамматики подсистема y_c-го ранга;

$\beta^{m,z/m,z}_{y_c,y_c+1}/\beta^{m,z/m,z,a-1}_{y_c}$ – степень уверенности (доверия) в выборе цели $q^{m,z}_{y_c}$ на основании цели вышестоящей, сгенерированной с использованием МГ подсистемы $c^{z,a}_{y_c+1}\cdot(q^{m,z}_{y_c+1})$ на (α-1)-й фазе МАИ.

В данном случае

$$Q^{m,z/m,Z^*}_{y_c}=\{\ q^{m,z/m,z^*}_{y_c}\ \}/Q^{m,z/m,G^*}_{y_c}=\{q^{m,z/m,g^*}_{y_c}\}-$$

множество целей сгенерированных вариантов СОИБ

$$C^{Z^*}_{y_c+1}\cdot\{\ c^{z^*,a}_{y_c}\ \}/C^{G^*}_{y_c},$$

взаимодействующих/конкурирующих на текущей фазе и влияющих на достижение m-ой цели подсистемы СОИБ $c^{z}_{y_c}$ на a-ой (текущей) фазе. Также в данных обозначениях

$$\beta^{m,z/m,Z^*}_{y_c}/\beta^{m,z/m,G^*}_{y_c}-$$

степень уверенности в определении цели $q^{m,z}_{y_c}$ на основании анализа множества целей

$$Q^{m,z/m,Z^*}_{y_c}/Q^{m,z/m,G^*}_{y_c};V_j-$$

j-ое множество факторов, характеризующих внешние условия (в частности, экономические условия и т.п.) и оказывающих влияние на определение цели

$$q^{m,z}_{y_c}\cdot c^{m,z}_{y_c};\xi_{треб.}(q^{m,z}_{y_c})=\xi_{треб.}(q^{m,z}_{y_c},q^{Z}_{y_c+1},Q^{Z^*}_{y_c},Q^{G^*}_{y_c},V_j))-$$

критерий выбора цели

$$q^{m,z}_{y_c};\beta^{m,z}_{y_c}=\beta^{m,z/m,z}_{y_c,y_c+1}\cdot\beta^{m,z/m,Z^*}_{y_c}\cdot\beta^{m,z/m,G^*}_{y_c}\cdot\beta^{m,z/m,z,a-1}_{y_c}.$$

Функция подтверждения

$$f((q^{m,z}_{y_c},\beta^{m,z}_{y_c}),q^{Z}_{y_c+1},Q^{Z^*}_{y_c+1},Q^{G^*}_{y_c+1},V_j,\xi_{треб.}(q^{m,z}_{y_c})$$

устанавливает взаимосвязь между учитываемыми факторами

$$q^{m,z/m,z}_{y_c,y_c+1},Q^{m,z/m,Z^*}_{y_c},Q^{m,z/m,G^*},q^{m,z/m,z,a-1}_{y_c}$$

и оцениваемым (определяемым) фактором $q^{m,z}_{y_c}$ на основании критерия $\xi_{треб.}(q^{m,z}_{y_c})$.

Модель для оценки влияния k-й модификации подсистемы СОИБ (y_c-1)-го ранга из состава k-й подсистемы y_c-го ранга представляется в следующем виде

$$M^{(m,z/m,z)}_{y_c,k/y_c-1,k}=\Big\langle q^{(m,z/m,z)}_{y_c,k/y_c-1},\{c^{(m,z/m,z)}_{y_c,k/y_c-1,k}\},Q^{(m,z/m,z)}_{y_c,k/y_c-1,k},W^{(m,z/m,Z)}_{y_c,k/y_c-1,k}=$$

$$=\{\omega^{(m,z/\alpha,m,z)}_{y_c,k/y_c-1,k}\},P^{(m,z/m,z)}_{y_c,k/y_c-1}=\{p^{(m,z/\alpha,m,z)}_{y_c,k/y_c-1,k}\},\{p^{m,z/m,z}_{y_c,k/y_c-1,k}\}\Big\rangle.$$

В представленных выше обозначениях также $q^{(m,z/m,z)}_{y_c,k/y_c-1}$ – m-ая микроцель z-ой сгененрированной и анализируемой подсистемы (y_c-1)-го ранга ($c^{(m,z)}_{y_c-1}$), входящей в k-ую допустимую комбинацию СрОИБ из состава подсистем СОИБ y_c-го ранга.

$\{c^{(m,z/m,z)}_{y_c,k/y_c-1,k}\}$ – множество допустимых модификаций сгенерированной z-й подсистемы (y_c-1)-го уровня (ранга), входящих в состав k-ой допусти-

мой модификации y_c-го уровня (ранга).

$c_{y_c(k)/y_c-1,k}^{(m,z/m,z)} = \left\langle c_{y_c-1,k/y_c-2}^{(m,z/m=1,z=1)}, c_{y_c-1,k/y_c-2}^{(m,z/m=2,z=2)}, \ldots, c_{y_c-1,k/y_c-2}^{(m,z/m,z)}, \ldots \right\rangle$ – k-ая допустимая модификация z-ой сгенерированной подсистемы (y_c-1)-го ранга, входящая в k-ую сгененрированную модификацию (вариант) подсистемы СОИБ y_c-го ранга.

В принятых обозначениях

$Q_{y_c,k/y_c-1,k}^{(m,z/m,z)} = \left\langle q_{y_c-1,k/y_c-2}^{(m,z/m=1,z=1)}, q_{y_c-1,k/y_c-2}^{(m,z/m=2,z=2)}, \ldots, q_{y_c-1,k/y_c-2}^{(m,z/m,z)}, \ldots \right\rangle$ – множество микроцелей элементов из состава k-й сгенерированной модификации подсистемы (y_c-1)-го ранга, совместное достижение которых обеспечивает достижение цели $q_{y_c-1,k}^{(m,z(i)}$.

Также:

- $W_{y_c,k/y_c-1,k}^{(m,z/m,Z)} = \left\{ \omega_{y_c,k/y_c-1,k}^{(m,z/\alpha,m,z)} \right\}$ – множество весовых коэффициентов для соответствующего множества частных показателей $P_{y_c,k/y_c-1,k}^{(m,z/m,z)}$, характеризующих достижение соответствующей частной цели из дерева целей $q_{y_c/y_c-1,k}^{(m,z/m,z)}$;
- $P_{y_c,k/y_c-1}^{(m,z/m,z)}$ – множество частных показателей, характеризующих достижение подцели $q_{y_c-1}^{(m,z)}$ z-м элементом, подсистемой (y_c-1)-го ранга $\tilde{n}_{y_c,k/y_c-1}^{(m,z/m,z)}$ из состава k-й сгенерированной (допустимой по правилам согласования и продукциям грамматик МГ) модификации подсистемы СОИБ (y_c-1)-го ранга;
- $p_{y_c,k/y_c-1}^{(m,z/\alpha,m,z)}$ – α-й частный показатель;
- $p_{y_c,k/y_c-1,k}^{(m,z/m,z)}$ – интегральный показатель, характеризующий степень достижения частной цели из дерева целей ($q_{y_c,k/y_c-1}^{(m,z/m,z)}$) k-й модификацией z-го СрОИБ подсистемы (y_c-1)-го ранга из состава k-й сгенерированной модификации подсистемы СОИБ y_c-го ранга.

В рамках предложенного МГАИ-подхода данные иерархически структурированные и взаимоувязанные множества могут рассматриваться как структуры, порождаемые грамматиками соответствующих уровней МГ (соответствующих рангам подсистем СОИБ).

При этом, возможно явное указание зачастую небольшого числа продукционных правил порождения данных структур, а взаимодействия при порождении рангов подсистем задаются правилами согласования МГ.

Это позволяет задавать с помощью относительно небольшого числа правил большое (зачастую экспоненциально разрастающееся) число вариантов создаваемых вариантов СОИБ, а при необходимости – и множества структур факторов для МАИ на уровне опытного эксперта (разработчика, коллектива разработчиков).

При этом, декомпозиция продукционной модели СОИБ в виде МГ, рекурсивный характер используемых правил порождения и согласования, позволяет:

- за счет использования небольшого множества правил порождать большое (зачастую экспоненциально разрастающееся) множество структур иерархий, используемых при анализе по Саати;
- исключить повторение (дублирование) структур иерархий;
- разработать систему новых методов анализа, сочетающих грамматический разбор МГ и полный или неполный (по подсистемам) анализ генерируемых иерархий;
- повысить эффективность генерации и анализа (выбора) за счет учета нечетких параметров (мер, атрибутов) в МГ;
- при учете правил согласования распараллелить или конвейеризировать процедуры структурно-параметрического синтеза сложноструктурированных СОИБ для АЭС ММ.

В качестве процедурной основы предложенного МГАИ-подхода предлагается использовать разработанные авторами и сотрудниками АНО «Институт инженерной физики» и АО «Консист-ОС» в рамках решения аналогичных задач методы и алгоритмы полного и неполного грамматического разбора (синтаксического анализа) метаграмматик, метод анализа иерархий Саати и его модификации [7-13,17-19].

В частности, методы полного грамматического разбора могут быть использованы для генерации и анализа вариантов СОИБ АЭС ММ, структурно-параметрический синтез которых осуществляется впервые.

Методы неполного грамматического разбора ориентированы на использование в случаях, когда генерация и анализ вариантов начинается с некоторого исходного (базового, типового) варианта СЗИ. Это обычно соответствует этапам структурной адаптации и модернизации при изменении условий применения СЗИ.

Необходимо подчеркнуть, что в МГ могут быть заранее заложены продукционные правила и правила согласования, описывающие порядок последующей структурной адаптации СЗИ под перспективные условия эксплуатации.

Также использование стохастических и нечетких МГ позволяет учесть вероятностные и нечеткие меры в моделях СЗИ и использовать их для выбора приоритетов в генерации вариантов. Использование атрибутных МГ позволяет учесть параметры СЗИ и их элементов при структурно-параметрическом синтезе, проводить грамматический разбор в соответствии с вычисленными значениями атрибутов (структурно- алгебраические методы синтеза) [9,13-19].

Использование графовых МГ (в том числе КИ-графовых [7,10,11]) позволяет объединить графовый и продукционный подходы, повысив

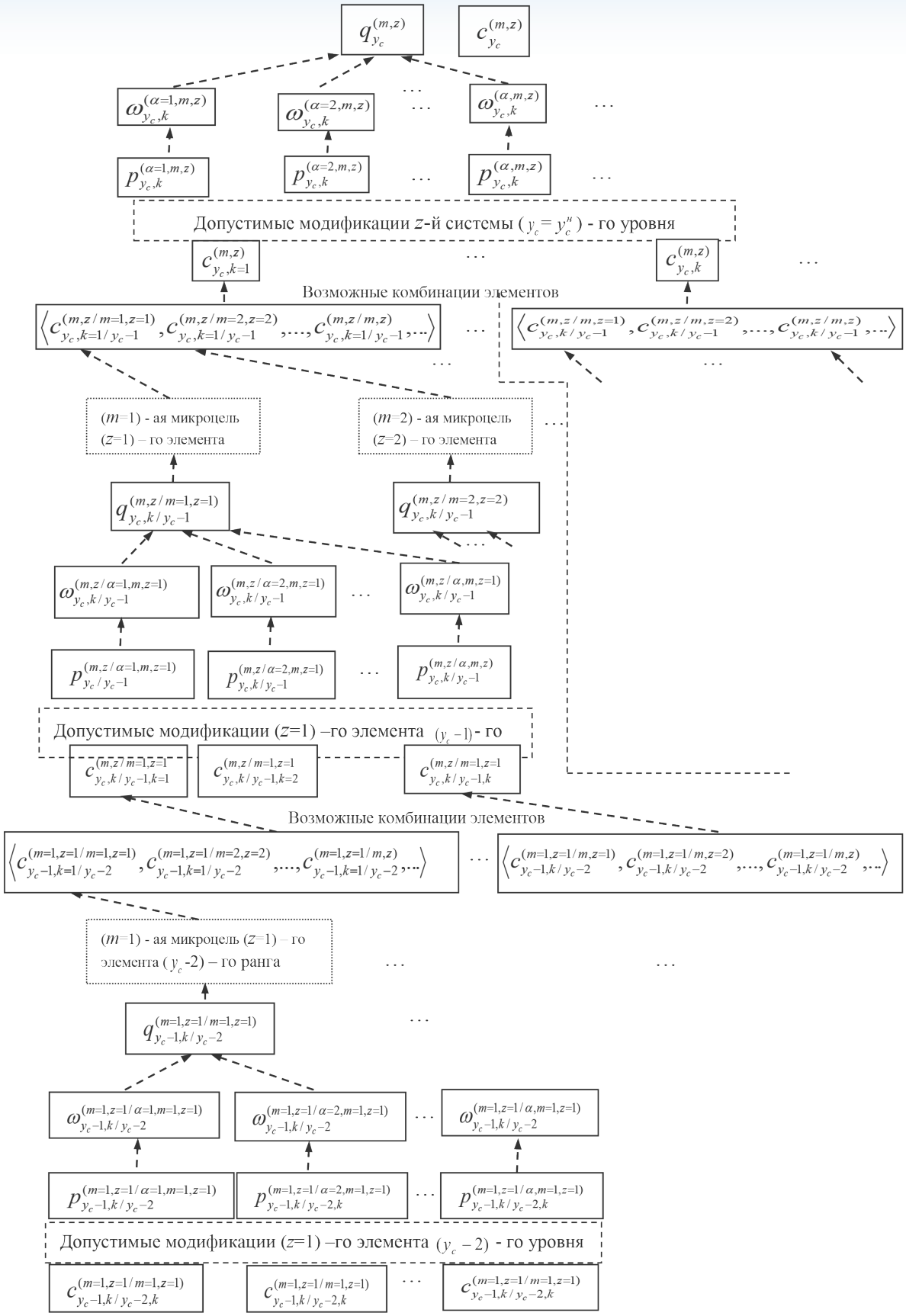


Рис. 1. Структура многоуровневой модели влияния на достижение цели генерируемой СОИБ y_c^n-ранга ($q_{y_c^n}^{(m,z)}$) разных факторов разного уровня (ранга)

эффективность методов генерации вариантов СЗИ для ряда прикладных задач.

МАИ и его модификации [12,18,19] могут быть использованы как на промежуточных шагах при генерации и выборе вариантов для текущей («на проходе») проверки их соответствия поставленным целям и критериям, так и на ряде заключительных шагов для конкурентного выбора лучшего из сгенерированных допустимых (рациональных) вариантов СОИБ.

В целом, проведенный анализ особенностей предложенного МГАИ-подхода показал следующее.

1. Интеграция в рамках единого подхода достоинств метаграмматического подхода и метода анализа иерархий Саати, позволяет учесть большинство из рассмотренных выше нечетких факторов применительно к созданию СОИБ АЭС ММ.

2. Применение в рамках МГАИ метаграмматических методов позволяет учесть существенно возросшую структурную сложность СОИБ АЭС ММ, явно отразить правила формирования и модернизации СЗИ, правила их структурно-параметрической адаптации к новым условиям эксплуатации, а также продукционные правила формирования сложных иерархий для МАИ Саати.

3. Использование в МГАИ-подходе интеграции метаграмматических методов и процедур формирования иерархий, а также МАИ Саати, позволяет использовать при структурно-параметрическом синтезе СОИБ нечетких мер и правил их расчета, что создает потенциальную возможность существенного повышения эффективности процедур генерации и анализа вариантов СОИБ АЭС ММ.

Литература

1. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики. Т.2. Под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. М.: Академ-Принт, 2015. 387 с.: ил.
2. IEC 62645 «Nuclear power plants – Instrumentation and control systems – Requirements for security programs for computer-based systems», 2014.
3. IEC 61226:2005. Электростанции атомные. Средства контроля и управления, важные для безопасности. Классификация функций контроля и управления.
4. IEC 60987:2007. Электростанции атомные. Средства контроля и управления важные для безопасности. Требования к проектированию аппаратных средств компьютерных систем.
5. Автоматизированные системы управления АЭС/ Ю.К. Атрощенко, Е.В. Иванова. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 81 с.
6. Анищенко А.В. Сети Петри-Маркова и их применение для моделирования процессов реализации угроз безопасности информации в информационных системах: [монография]/ А.В. Анищенко, Ю.К. Язов. Воронеж: Кварта, 2020. 173 с.
7. Атакищев О.И. Коллегиальные метаграмматики для моделирования динамично изменяемых программ создания систем информационной безопасности / О.И. Атакищев, И.Л. Борисенков, В.Г. Грибунин, Я.Д. Смирнов // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2020. №4(190). С. 29-43.
8. Городецкий В.И., Дрожжин В.В., Зверюков Б.В., Новожилкин А.В., Полищук Г.М., Юсупов Р.М. Многоуровневые структуры атрибутных грамматик для моделирования сложных организационных систем и их применение в задачах принятия решений / Научно-технический сборник (труды). Вып.599, 1983. С.1-20.
9. Атакищев О.И., Аджемов С.С., Емельянов С.Г. [и др]. Формальные грамматики, метаграмматики и грамматические структуры. Их применение при принятии управленческих решений. М.: МТУСИ, 2010. 345 с.
10. Атакищев О.И. Особенности коллегиальных метаграмматик и их использования при решении задач графодинамики / О.И. Атакищев, И.Л. Борисенков, А.Н. Царьков, Я.Д. Смирнов // Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». Ростов-на-Дону–Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2020. С.223-226.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
12. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.
13. Григорьев Л.И., Кершенбаум В.Я., Костогрызов А.И. Системные основы управления конкурентоспособностью в нефтегазовом комплексе. М.: Изд-во НИНГ, 2010. 373 с.: ил.
14. Резников Б.А. Системный анализ и методы системотехники. Ч.1. Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. Учебник. МО СССР, 1990. 522 с.
15. Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2008. 184 с.
16. Кини Р.А., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.: ил.
17. Сизов А.С., Стребков Д.А. Выбор гипотез в синтезируемых технических системах в условиях неопределенности // Телекоммуникации, 2002. № 12. С.10-12.
18. Емельянов С.Г., Атакищев О.И., Стребков Д.А., Заичко В.А. Нечеткая многоуровневая модификация метода анализа иерархий и способ определения оценок предпочтительности альтернативных вариантов создания сложных систем космического назначения в условиях повышения неопределенности внешней среды // Известия ЮЗГУ, 2012. №5(44). Ч.2. С.50-60.
19. Атакищев О.И. Модели на основе КИ графов для описания вариантов построения автоматизированных комплексов информационной безопасности/ О.И. Атакищев, Р.В. Гнедин // Сборник трудов участников I Межведомственной научно-практической конференции «Телекоммуникации и кибербезопасность: специальные системы и технологии». Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. Т.2. С. 253-257.

УДК 543.61

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА «ТАМЕРОН®» С ПРИМЕНЕНИЕМ ИК–СПЕКТРОМЕТРИИ

MEDICINE «TAMERON®» STANDARDIZATION BY IR–SPECTROMETRIC

Юлия Валерьевна Краснова
кандидат технических наук
главный технолог
фармацевтического производства
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1 а, корп. 1
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: iuvkrasnova@iifmail.ru

Анна Валериевна Чистякова
начальник отдела контроля
фармацевтической системы качества
Фармацевтическая служба качества
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1 а, корп. 1
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: avchistiakova@iifmail.ru

Аннотация:
В статье изучена возможность подтверждения подлинности препарата **«ТАМЕРОН®»** (аминодигидрофталазиндион натрия) по спектральным характеристикам в средней области инфракрасного спектра. Описана пробоподготовка испытуемого вещества с целью снижения вариабельности результатов исследования и улучшения воспроизводимости методики. Выделены характеристические полосы для подтверждения подлинности препарата после проведения описанной пробоподготовки.
Ключевые слова: аминодигидрофталазиндион натрия, **«ТАМЕРОН®»**, подлинность, ИК-спектрометрия.

Summary
The article studied the possibility of confirming the medicine **«TAMERON®»** (sodium aminodihydrophthalazinedione) authenticity by spectral characteristics in the mid-infrared region. The sample preparation of the test substance is described in order to reduce the results variability and improve the method reproducibility. Characteristic bands were identified to confirm the product authenticity after the described sample preparation.
Keywords: sodium aminodihydrophthalazinedione, **«TAMERON®»**, authenticity, IR-spectrometric.

Известен лекарственный препарат на основе аминодигидрофталазиндион натрия «**ТАМЕРОН®**», обладающий иммуномодулирующим, противовоспалительным, антиоксидантным, антибактериальным, противовирусным, радиопротекторным, регенерирующим, нейропротекторным действиями [7]. «**ТАМЕРОН®**» обладает высокой эффективностью при лечении различных патологий и вирусных заболеваний, в том числе коронавирусной инфекции [4,5,6,10]. Для подтверждения идентичности субстанции, используемой для производства данного лекарственного препарата, и самого готового препарата необходим репрезентативный способ для предупреждения и выявления несоответствий на этапе производства.

Контроль качества готового продукта является неотъемлемой частью производства лекарственных средств. Подтверждение подлинности гарантирует его соответствие заявленному наименованию и является одним из показателей безопасности.

В фармацевтической химии для идентификации веществ применяют ряд инструментальных методов, среди которых можно выделить метод спектрометрии в инфракрасной области. Некоторые группы атомов при определенной частоте поглощают инфракрасное излучение независимо от структуры остальной части молекулы, что позволяет выделять характеристические полосы для конкретного вещества и судить о его подлинности.

Целью исследования явилось изучение возможности стандартизации лекарственного средства на основе аминодигидрофталазиндион натрия («**ТАМЕРОН®**») по спектральным характеристикам в средней области инфракрасного спектра.

Материалы и методы

Объектом исследования является лекарственный препарат «**ТАМЕРОН®**», лиофилизат для приготовления раствора для внутримышечного введения, 100 мг» (далее «**ТАМЕРОН®**»).

Действующим вещество – аминодигидрофталазиндион натрия.

Определение подлинности с использованием ИК – спектроскопии:

1 мг образца исследуемого вещества, подготовленного для испытания, растирают с 300 мг KBr тщательно из мельченного в агатовой ступке, высушенного при 105°С в вакууме, в течение 12 ч. Смесь тщательно перетирают, добиваясь необходимой однородности, и прессуют образующуюся таблетмассу при давлении около 800 МПа в течение 2 минут. При визуальном осмотре на образующемся диске не должно быть неоднородностей и трещин. Затем помещают диск с испытуемым веществом в специальную кювету и проводят съемку образца [3].

Съемку спектра проводили на ИК-спектрометре ФСМ 2201 («Инфраспек», Россия») в рабочей области спектра от 4000 до 400 $см^{-1}$ в режиме «пропускание», с разрешением 4 $см^{-1}$.

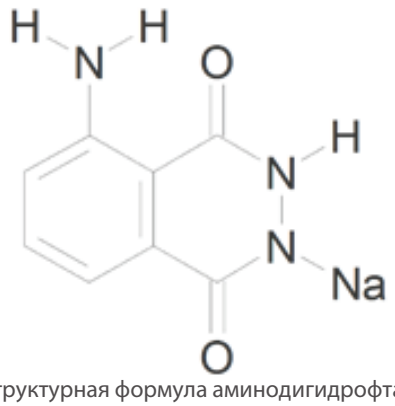


Рис. 1. Структурная формула аминодигидрофталазиндион натрия

Результаты и обсуждение

Исследуемое действующее вещество лекарственного препарата «**ТАМЕРОН®**» (*рисунок 1*) является химически синтезируемым и обладает специфичным набором полос поглощения [7].

При проведении ИК-спектрометрии натриевой соли люминола на результат анализа могут влиять содержание связанной воды в молекуле и вид кристаллической решетки. Для исключения влияния выше указанных факторов, снижения вариабельности результатов и повышения надежности аналитической методики было решено стандартизировать испытание путем пробоподготовки люминола натрия и стандартного образца. Для этого на этапе пробоподготовки проводилось осаждение соли люминола натрия до люминола 30% уксусной кислотой. Осадок отфильтровывали, высушивали до постоянной массы и регистрировали спектры сухих остатков.

Спектр поглощения снятый с применением описанной пробоподготовки представлен на *рисунке 2*.

Из рисунка видно, что для образцов прослеживаются характерные для ароматических аминопроизводных полосы поглощения 786, 1052, 1450, 3329 $см^{-1}$ относящиеся к колебаниям замещенного бензольного кольца, 702, 1246, 1382 – аминогруппы.

Значения максимумов поглощения представлены в *таблице 1*.

Найденные значения максимумов поглощения подтверждают принадлежность испытуемого вещества к гетероциклическим органическим аминосоединениям.

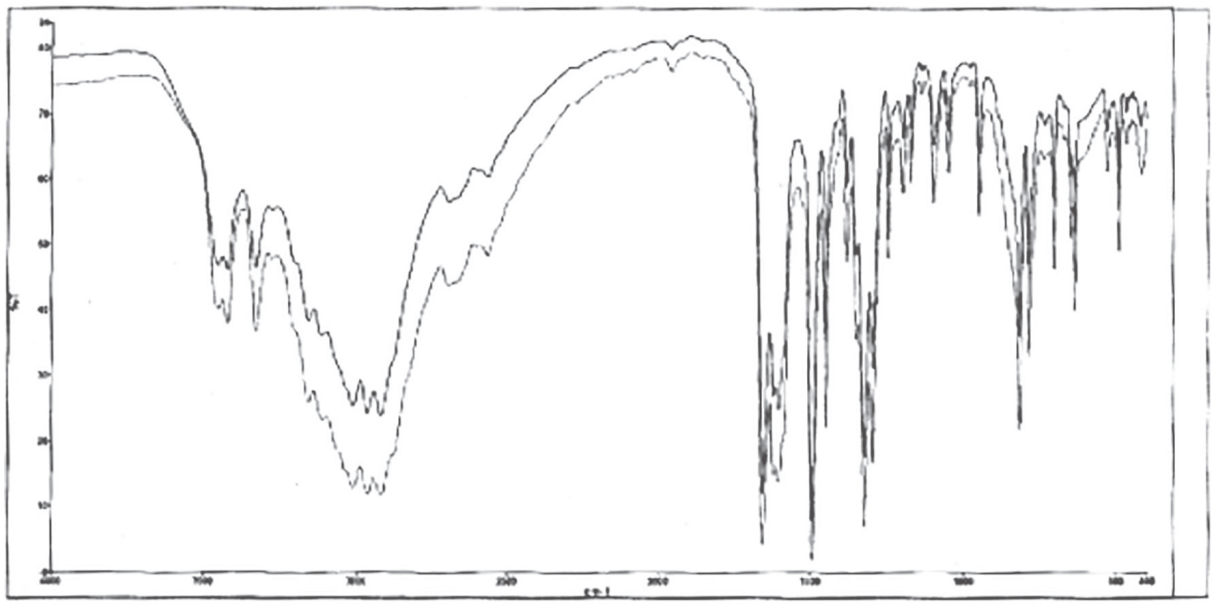


Рис. 2. ИК-спектры стандартного (1) и испытуемого (2) образцов после осаждения в бромиде калия

Таблица 1
Максимумы поглощения

№ п/п	Длина волны, $см^{-1}$±3	Диапазон поглощения, $см^{-1}$, литературные данные [1,2,9]	Группа
1	702	750-700	NH_2 в первичных аминах
2	786	780-760	$C_{аром}$ – H (1,2 3 замещ. бензол)
3	1052	1100-1000	$C_{аром}$ – H (1,2,3 – замещенный бензол)
4	1138	1220-1020	C-N
5	1172	1220-1020	C-N
6	1246	~1250	CNH в амидах
7	1382	1390-1250	Первичные ароматические амины
8	1450	1490-1450	C - C аром. (бензольное кольцо)
9	1959	1900-1600	C=O $\nu_{C=O}$
10	3329	3500-3300	Первичные ароматические амины

Заключение

Полученный с использованием описанной пробоподготовки ИК-спектр лекарственного средства на основе аминодигидрофталазиндион натрия («**ТАМЕРОН**®») отражает химическую структуру исследуемого вещества, качественную характеристику, а также воспроизводимость и специфичность методики, что позволяет применять метод ИК-спектроскопии для определения его подлинности.

Литература

1. Анисимова Н.А. Идентификация органических соединений: учеб. пособие (для студентов, обучающихся по специальности «химия»). Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2009. 95 с.
2. Гаджиев Г.Г. Пожаровзрывоопасность некоторых органических соединений с эксплозиформными группами: дис. … канд. техн. наук: 05.17.07. М., 2017. 163 с.
3. Государственная Фармакопея Российской Федерации, XIV издание. Введение. Общие положения. Методы анализа лекарственных средств. Реактивы. М., 2018. Т. 1. 1814 с.
4. Ермаков А.М., Ермакова О.Н., Царькова Е.А., Царьков А.Н. «**ТАМЕРОН**®» – как препарат для профилактики и лечения нейропсихологических последствий стресса у военнослужащих // Известия Института инженерной физики, 2021. №3 (61). С. 87-90.
5. Ермаков А.М., Ермакова О.Н., Царькова Е.А., Царьков А.Н. «**ТАМЕРОН**®» (аминодигидрофталазиндион натрия) как потенциальный комплексный препарат для терапии короновирусной инфекции COVID-19 // Морская медицина, 2020. Т. 6. № 3. С. 67-75.
6. Ермаков А.М., Царькова Е.А. К вопросу об антиоксидантной активности препарата «**ТАМЕРОН**®» // Известия Института инженерной физики, 2020. №3 (57). С. 103-106.
7. Краснова Ю.В., Царьков А.Н., Царькова Е.А. Технология производства иммунотропного инновационного препарата «**ТАМЕРОН**®» // Известия Института инженерной физики, 2020. №2 (56). С. 82-86.
8. Лекарственный препарат «**ТАМЕРОН**®» [Электронный ресурс] // Столетика [сайт]. [2021]. URL: https://stoletika.ru/lekarstvennyj-preparat-tameron (дата обращения: 09.01.2023).
9. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений / пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2011. 557 с.
10. Царьков А.Н., Царькова Е.А. Инновационный препарат «**ТАМЕРОН**®» // Известия Института инженерной физики, 2019. №4 (54). С. 111-115.

УДК 577.2

НАНОПОРОВОЕ СЕКВЕНИРОВАНИЕ ДНК И РНК – ПЕРЕДОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

NANOPORE DNA AND RNA SEQUENCING – AN ADVANCED TECHNOLOGY FOR DETERMINING NUCLEOTIDE SEQUENCES

Артём Михайлович Ермаков
кандидат биологических наук
ведущий специалист-исследователь
АНО «Институт инженерной физики»
ведущий научный сотрудник
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
заместитель Генерального директора –
главный конструктор
АО «Столетика»
Адрес: 142290, Московская обл.,
г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел. +7 (4967) 73-94-28
E-mail: ao_ermakovy@rambler.ru

Денис Сергеевич Руднев
Генеральный директор
АО «Столетика»
Адрес: 142211 Московская обл.,
г. Серпухов, Московское ш., д.42, кв.106
Тел.: +7 (985) 090-07-52
E-mail: Denissrudnef@gmail.com

Елена Александровна Царькова
Генеральный директор
Медицинская клиника «АксиоМед»
Адрес: 142210, Московская область,
г. Серпухов, ул. 2-я Московская,
д. 6, к. 5, помещ. 4А
Тел.: +7 (4967) 12-84-88
E-mail: axiomed@mail.ru

Аннотация:
В статье кратко рассматривается принцип и составляющие передовой технологии нанопорового секвенирования ДНК и РНК. Описываются ключевые компоненты этого программно-аппаратного комплекса – белковая нанопора, моторный белок хеликаза, структура сенсора и методы анализ данных. Метод высокопроизводительного определения последовательности нуклеотидов с помощью нанопор упростил процедуру секвенирования и пробоподготовку, значительно снизил стоимость и обеспечил небывалую гибкость методов работы. При этом нанопоровая технология позволяет значительно минитюаризировать приборы, где управление прибором и анализ данных осуществляется обычным ноутбуком. Нанопоровое севенирование, как способ масштабного определения нуклеотидных последовательностей в ближайшие годы займет превалирующее значение в получении больших генетических данных для биологии и медицины.
Ключевые слова: нанопоровое секвенирование ДНК и РНК, белковая нанопора, хеликаза, нанопоровый секвенатор.

Summary
The article briefly discusses the principle and components of advanced nanopore DNA and RNA sequencing technology. The key components of this hardware and software complex are described: the protein nanopore, the helicase motor protein, the sensor structure, and data analysis methods. The high-throughput nucleotide sequencing method using nanopores has simplified the sequencing procedure and sample preparation, significantly reduced the cost, and provided unprecedented flexibility in working methods. At the same time, nanopore technology makes it possible to significantly miniaturize the instruments, where the device control and data analysis is performed by an ordinary laptop computer. Nanopore sequencing, as a method of large-scale determination of nucleotide sequences, will prevail in the coming years in obtaining big genetic data for biology and medicine.
Keywords: nanopore sequencing of DNA and RNA, protein nanopore, helicase, nanopore sequencer.

Технологии секвенирования ДНК (определение последовательности нуклеотидов) в настоящее время стремительно развиваются, обеспечивая внедрение генетических технологий в медицину, сельское хозяйство, биотехнологию и промышленность. Все эти направления требуют, прежде всего, высокопроизводительного секвенирования, которое позволяет определять нуклеотидные последовательности большого количества генетического материала, где число определяемых нуклеотидов достигает несколько десятков или сотен миллиардов (геномы, транскриптомы, метагеномы) [1]. Получение большого массива генетических данных обеспечивается преимущественно секвенаторами нового поколения NGS (next generation sequencing). Эти технологии используют методы так называемого секвенирования путем синтеза, где детекция нуклеотидов производится преимущественно оптическими или электрохимическими методами. Соответственно, пробоподготовка для данных методов достаточно сложна, стоимость анализа пока высока, и при этом громоздкие приборы для секвенирования данным методом и требуемое дополнительное оборудование возможно разместить только в лабораторных помещениях.

Но в последние годы стремительное развитие получила технология нанопорового секвенирования, которая позволяет читать нуклеотиды напрямую, без специальных красителей, меток и оптических приспособлений. Этот метод значительно упрощает как сам процесс секвенирования и пробоподготовку, так и значительно снижает стоимость и обеспечивает небывалую гибкость методов работы. А самое главное – нанопоровая технология позволяет значительно минитюаризировать приборы и обеспечивает значительную мобильность – секвенировать ДНК можно в любых условиях, в плоть до космического полета [2]. На рынке нанопоровых секвенаторов сейчас главенствует компания Oxford Nanopore (Англия), а в 2022 году компания из Китая Qitan Tech заявила о выходе своего нанопорового секвенатора. Как показывает до-

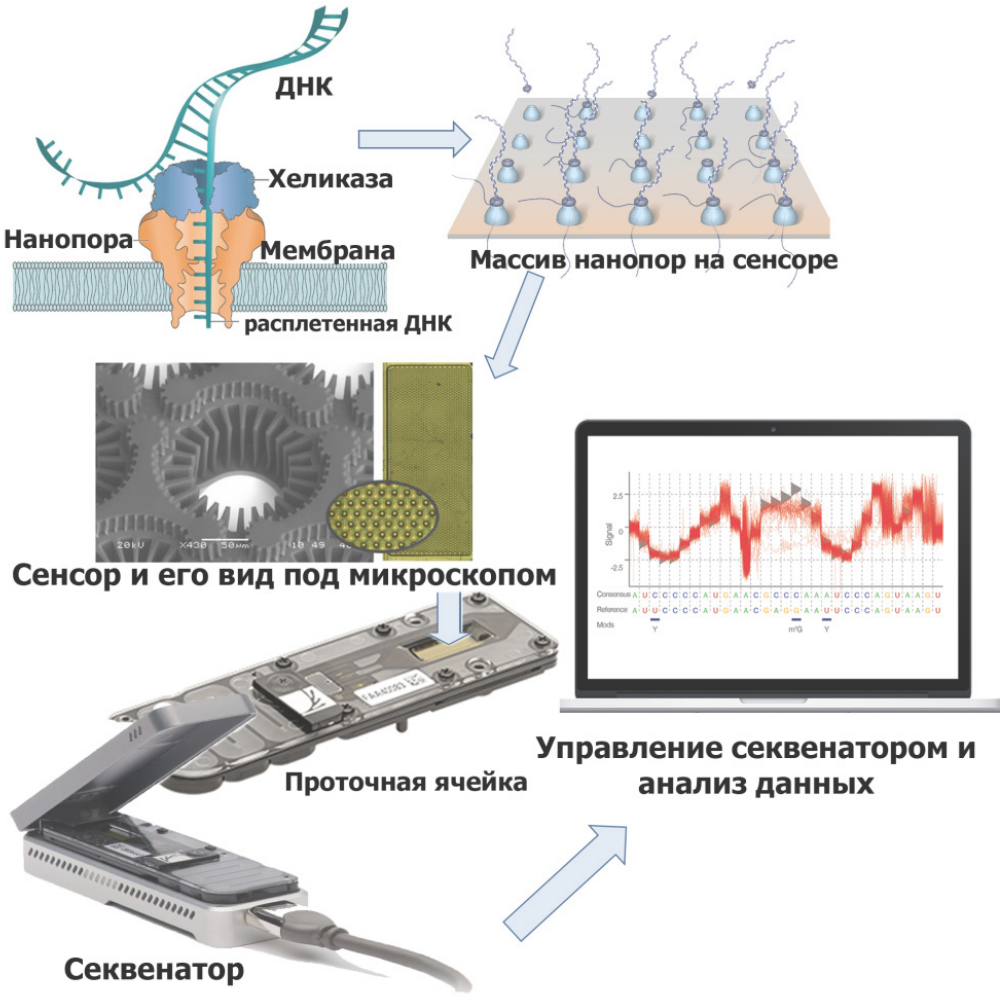


Рис.1. Принцип и компоненты технологии нанопорового секвенирования

ступная информация – эти компании используют одинаковые принципы и подходы [3,4].

Основа нанопорового секвенирования – белковая пора, встроенная в бислойную липидную мембрану, через которую осуществляется транслокация молекулы ДНК или РНК под действием электрического поля. Мембрана с порами располагается на сенсоре, в котором встроен электрод, измеряющий электрический ток, при этом сам сенсор находится в проточной ячейке, содержащий электродный буфер. Декодирование электрического тока с помощью программного обеспечения переводит электрический сигнал в последовательность нуклеотидов (*рисунок 1*). Таким образом, вся система представляет собой сопряженный программно-аппартный комплекс декодирования сверхмалых токов (порядка 100 пикоА). Более подробно каждый элемент этого комплекса рассмотрим далее.

Белковая пора, моторный белок, мембрана и сенсор

В основе рассматриваемого подхода к нанопорового секвенирования лежит применение белковой поры, которая встроена в липидную мембрану. В качестве белковой поры используются различные варианты белков, образующих поры у бактерий и выполняющие различные функции – преимущественно неспецифичного транспорта различных ионов и молекул. Первоначально, в качестве потенциальных пор использовали белок альфа-гемолизин из бактерии золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*), который в эритроцитах образует пору из нескольких мономерных субъединиц и обеспечивает выход гемоглобина из эритроцитов при гемолизе [5]. Но так как диаметр образуемой поры здесь достаточно большой – данный белок дает большой шум тока ионов и не позволяет точно определять основания ДНК [6]. Для устранения этой проблемы были применены

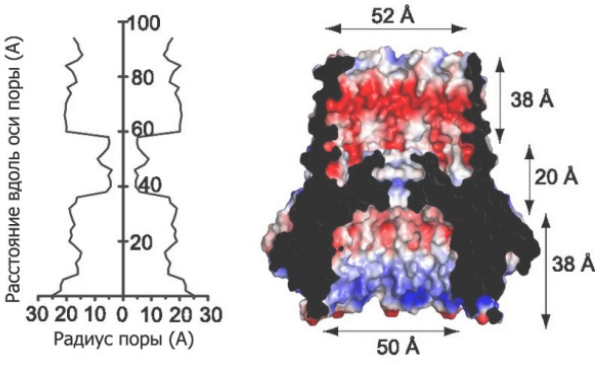


Рис. 2. Белковая нанопора CsgG из кишечной палочки *Escherichia coli* и ее размерные характеристики

другие белки, например порин А (MspA) из бактерии *Mycobacterium smegmatis* или белок CsgG из кишечной палочки *Escherichia coli* [7]. Последний белок, после соответствующей белковой инженерии (внесения серии мутаций, улучшающих его свойства применительно к секвенированию) как раз и используется в нанопоровых секвенаторах сейчас. Он образует очень узкое отверстие с диаметром порядка 40 Ангстрем, с очень узким горлышком (называемым еще считывающей головкой) диаметром 12 Ангстрем, что дает, по сути, единичное расположение нескольких нуклеотидов в процессе транслокации молекулы ДНК через пору (*рисунок 2*). Этим достигается меньший токовый шум и лучшее разрешение по изменению тока, т.е. можно гораздо точнее декодировать сигнал [8].

Как было сказано ранее, молекула ДНК или РНК движется через пору под воздействием электрического поля, но при этом скорость транслокации может достигать более 1000 нуклеотидов в секунду. Такая большая скорость значительно снижает точность распознавания оснований. Для ограничения скорости движения используются белки, специализирующиеся на расплетании комплементарных цепей молекулы ДНК. В частности, различные ДНК полимеразы (например, полимераза фаза phi29) или экзонуклеаза. Но наиболее оптимальными для этой задачи оказались ДНК – хеликазы [9]. Хеликазы позволяют ограничить скорость прохождения молекулы ДНК через пору до 200-400 нуклеотидов в секунду и создать более равномерное прохождение нуклеотидов, так как хеликаза является белком – молекулярным мотором, расплетающим молекулу ДНК за счет энергии АТФ, при этом значительно улучшаются показатели соотношения сигнал/шум и достигается более оптимальная амплитуда тока [10].

Как показано на *рисунке 1*, сенсор, на котором происходи процесс секвенирования и считывание электрического тока представляет собой матрицу, содержащей массив колодцев в виде микроемкостей с диаметром порядка 70 мкм и глубиной 100 мкм. По сути, каждый колодец является единицей сенсора, у которого в основании расположен измеряющий микроэлектрод на который при этом подается положительный потенциал, а сама емкость заполнена нижним электродным буфером. Сверху сенсор закрыт биоподобной биологической мембраной, в которую как раз и встроена единичная секвенирующая белковая нанопора. Снаружи весь массив колодцев заполнен верхним электродным буфером, на который подается отрицательный потенциал от общего электрода. Число колод-

цев на сенсоре может быть разным, и их количество определяет производительность секвенирующей проточной ячейки. Например, в ячейке для секвенатора MinION Oxford Nanopore плотность сенсора составляет 2048 колодцев и соответственно он имеет столько же белковых единичных нанопор, а в ячейке для прибора PrometION – плотность сенсора 10700 единичных нанопор и производительность этого типа ячеек в 10 раз больше [3].

Понятно, что ток ионов, создаваемый крайне малый – порядка 10-100 пикоА, поэтому для его регистрации необходим усилитель. В проточной ячейке им является ASIC чип, который усиливает и преобразует аналоговый сигнал тока поры в цифровой сигнал, передаваемый на прибор и обрабатываемый программным способом в персональном компьютере. Данный чип может быть спаян с сенсором (например, в ячейках для MinION и PrometION) или находиться отдельно от него в виде адаптера и соединяться с сенсором ячейки контактами. Чип также имеет разное число каналов в зависимости от плотности сенсора. Например, в случае ячейки для MinION число каналов чипа равно 512 (плотность сенсора 2024 поры), поэтому при работе секвенатора нуклеотидные последовательности могут считываться одновременно только с 512 пор, которые программа выбирает на основании

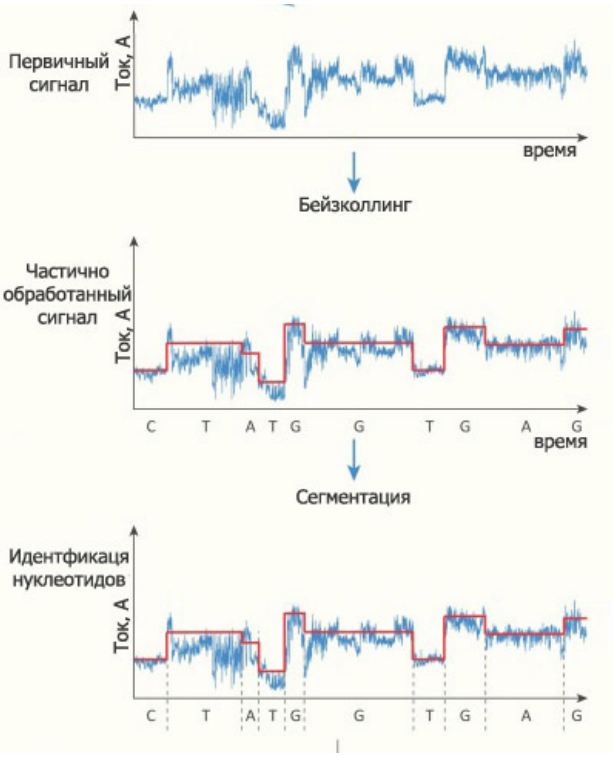


Рис. 3. Вид первичного сигнала и последовательность обработки электрического сигнала нанопор, идентификация нуклеотидов

наилучшей работоспособности. Каждые полтора часа работы происходит выбор следующих наиболее работоспособных пор. В итоге достигается максимальная производительность секвенатора.

Программный комплекс обработки – перевод электрических сигналов в нуклеотиды

Как уже было сказано выше, прохождение любого из 4-х нуклеотидов через пору вызывает характерное изменение электрического тока, которое можно потом декодировать и определить тип нуклеотида. Таким образом дешифровать всю последовательность ДНК, прошедшую через пору. Между тем это не простая задача, так как сигнал сильно зашумлен (сам сигнал называют сквиглом) и достаточно стохастичен. К тому же в поре одновременно находится не один нуклеотид, а 5, соответственно число возможных вариантов сигнала доходит до 4^5 (т.е. 1024). Первичная обработка сигнала проходит в несколько этапов – получение первичного сигнала, его сегментация и определение нуклеотидов (*рисунок 3*). Такой первичный анализ последовательности потребляет не большой вычислительный ресурс, при этом сама программа формирует специализированные файлы, содержащие данные первичного электрического сигнала и его декодированную версию в виде нуклеотидов. В данном случае точность определения последовательности здесь составляет порядка 70-80 %, что, конечно же, недостаточно.

Повышение точности определение последовательностей производится с помощью программ бейзколлеров. Эти программы построены на основе глубоких рекуррентных нейросетей и машинного обучения [11]. Под каждый тип нанопор, сенсора, используемых чипов и реагентов для пробоподготовки, производится обучение работы программы на основе секвенируемых молекул ДНК или РНК с известной последовательностью. Модели машинного обучения построены здесь таким образом, что они учитывают сигнал из входного вектора ионного тока и предыдущего скрытого состояния для расчета текущего скрытого состояния и связанного с ним распределения вероятностей оснований, а также учитывают еще и информацию из предыдущих и будущих состояний входного вектора ионного тока [12]. Применение этих подходов значительно увеличивает точность прогнозирования. Конечно же, работа этих программ требует больших вычислительных ресурсов и для увеличения производительности используют графические ускорители, которые значительно оптимизируют процесс обработки данных. В итоге работы бейзколлера получают

последовательность определяемых нуклеотидов с точностью до 99,5%, что сравнимо с другими методами секвенирования, ранее считавшимися эталонными [3].

Заключение

Как показывает краткое описание принципов технологии нанопорового секвенирования, которое сейчас реализовано в коммерчески-доступных вариантах, этот способ масштабного определения нуклеотидных последовательностей в ближайшие годы займет превалирующее значение. Очевидно, что в отличие от распространенных методов секвенирования, где длина читаемых последовательной ДНК ограничена 300 нуклеотидами, технология нанопор может определять последовательности ДНК длиной до 2 млн. нуклеотидов. Это дает возможность очень точно определять структуру больших геномов. Так, только применение нанопорового секвенирования позволило в 2022 году наконец-то собрать наиболее полный геном человека, многих растений важных для сельского хозяйства [13,14]. Применяя нанопровое секвенирование, удалось расшифровать геном человека и определить все мутации в нем, важные с клинической точки зрения за 1 час [15]. Ранее эти процедуры занимали в лучшем случае несколько месяцев. Еще раз стоит отметить портативность технологии и простоту пробоподготовки – поэтому нанопоровое секвенирование постепенно становится важным методом диагностики инфекционных заболеваний и обеспечения биобезопасности. Яркий пример – при пандемии COVID-19 более 90 % геномов вируса отсеквенировано этим методом [16].

Литература

1. Behjati S., Tarpey P.S. What is next generation sequencing? // Arch Dis Child Educ Pract Ed., 2013. 98(6). 236-8.
2. Castro-Wallace S.L., Chiu C.Y., John K.K., Stahl S.E., et al. Nanopore DNA Sequencing and Genome Assembly on the International Space Station // Sci Rep, 2017. 21. 7(1). 18022.
3. Веб ресурс https://nanoporetech.com/
4. Веб ресурс https://www.qitantech.com/
5. Song, L. et al. Structure of staphylococcal α-hemolysin, a heptameric transmembrane pore // Science, 1996. 274. Pp.1859-1866.
6. Stoddart D., Heron A. J., Mikhailova E., Maglia G., Bayley H. Singlenucleotide discrimination in immobilized DNA oligonucleotides with a biological nanopore // Proc. Natl Acad. Sci. USA, 2009. 106. Pp.7702-7707.
7. Butler T., Pavlenok M., Derrington I.M., Niederweis M., Gundlach J.H. Single-molecule DNA detection with an engineered MspA protein nanopore // Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S., 2008. 105. 52. 20647-52.
8. Cao B., Zhao Y., Kou Y., Ni D., Zhang X.C., Huang Y. Structure of the nonameric bacterial amyloid secretion channel // Proc Natl Acad Sci U S A, 2014. 16. 111(50). E5439-44
9. Cockroft S. L., Chu J., Amorin M., Ghadiri M. R. A single-molecule nanopore device detects DNA polymerase activity with single-nucleotide resolution // J. Am. Chem. Soc., 2008. 130. Pp.818-820.
10. Derrington I.M., Craig J.M., Stava E., Laszlo A.H., Ross B.C., Brinkerhoff H., Nova I.C., Doering K., Tickman B.I., Ronaghi M., Mandell J.G., Gunderson K.L., Gundlach J.H. Subangstrom single-molecule measurements of motor proteins using a nanopore // Nat Biotechnol, 2015. 33(10). 1073-5.
11. Perešíni P., Boža V., Brejová B., Vinař T., Nanopore base calling on the edge // Bioinformatics, 2021. 37(24). Pp.4661-4667.
12. Boža V., Brejová B., Vinař T. DeepNano: Deep recurrent neural networks for base calling in MinION nanopore reads // PLOS ONE, 2017. 12(6). e0178751.
13. Nurk S., Koren S., Rhie A., Rautiainen M., et al. The complete sequence of a human genome // Science, 2022. 376(6588). Pp.44-53.
14. Liu, Y., Zhang, M., Wang, R. et al. Comparison of structural variants detected by PacBio-CLR and ONT sequencing in pear. BMC Genomics 23, 830 (2022).
15. Gorzynski J.E., Goenka S.D., Shafin K., et al. Ultrarapid Nanopore Genome Sequencing in a Critical Care Setting // N Engl J Med, 202. 386(7). Pp.700-702.
16. Arévalo M.T., Karavis M.A., Katoski S.E., Harris J.V., Hill J.M., Deshpande S.V., Roth P.A., Liem A.T., Bernhards R.C. A Rapid, Whole Genome Sequencing Assay for Detection and Characterization of Novel Coronavirus (SARS-CoV-2) Clinical Specimens Using Nanopore Sequencing // Front Microbiol, 2022. 13. 910955.

УДК 65.012

КРИТЕРИИ И ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ

CRITERIA AND PERFORMANCE INDICATORS OF STATE SCIENTIFIC CENTERS

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР
доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник
ФГБУ «НТИМИ»
Адрес: 125252, Москва, ул. Зорге, д. 22
Тел.: +7 (499) 943-13-10

Аннотация:
Рассматриваются особенности присвоения научным организациям статуса «Государственный научный центр». Предлагаются критерии и показатели результативности научных организаций, претендующих на присвоение (подтверждение) статуса «Государственный научный центр».
Ключевые слова: государственный научный центр, критерий, показатель, результативность.

Summary
The article discusses the features of assigning the status of "State Scientific Center" to scientific organizations. The criteria and performance indicators of scientific organizations applying for the assignment (confirmation) of the status of «State Scientific Center» are proposed.
Keywords: state scientific center, criterion, indicator, effectiveness.

С выходом Указа Президента Российской Федерации от 12 августа 2022 г. №546 «О государственных научных центрах Российской Федерации» [1], которым были внесены изменения как в присвоение статуса государственных научных центров (ГНЦ), так и в функции ГНЦ, определенные как основные направления деятельности ГНЦ, для оценки деятельности ГНЦ РФ требуется корректировка используемых показателей результативности их деятельности.

Опуская анализ показателей результативности деятельности научных организаций, достаточно подробно приведенный в работе [2], сразу перейдем к предложениям по корректировке критериев и основных и дополнительных показателей, предлагаемых в этой же работе.

Присвоение (подтверждение) статуса ГНЦ (в соответствии с Указом [1]) осуществляется научным организациям при наличии: уникальной научной установки, и (или) центра коллективного пользования научным оборудованием, и (или) уникального опытно-экспериментального оборудования; высококвалифицированных кадров; результатов научных исследований, получивших международное признание. По-существу, расширен круг уникальных установок, что не приводит к необходимости принципиальных изменений критериев и показателей [2], но все же требует их корректировки. Предложения по критериям и показателям сводятся к следующему.

Критерий 1. Использование уникальной научной установки, и (или) центра коллективного пользования научным оборудованием, и (или) уникального опытно-экспериментального оборудования.

Основной показатель:

О1 – Количество организаций-пользователей УО (подтвержденные договорами), отнесенное к общему количеству УО.

Дополнительные показатели:

Д1 – Доля пользователей УО в численности исследователей (%).

Д2 – Доля фактического времени работы УО к максимально возможному времени работы за год (%).

Д3 – Доля фактического времени работы УО в интересах третьих лиц к фактическому времени работы УО за год (%).

Критерий 2. Высококвалифицированные научные работники и специалисты.

Основной показатель:

О2 – Доля высококвалифицированных научных работников (кандидатов и докторов наук) и высококвалифицированных специалистов (ино-

странцев) в численности исследователей (%).

Дополнительные показатели:

Д4 – Доля исследователей в численности работников, выполнявших исследования и разработки (%).

Критерий 3. Результаты научных исследований, получивших международное признание.

Основной показатель:

О3 – Количество созданных результатов интеллектуальной деятельности (РИД), имеющих государственную регистрацию и (или) правовую охрану в РФ и(или) за ее пределами в расчете на 100 исследователей (ед./100 чел.).

Дополнительные показатели:

Д5 – Сумма открытых и закрытых публикаций: в журналах, входящих в международные базы, в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК, монографий, отчетов о научно-исследовательских и опытно-**конструкторских работах по заказам федеральных органов исполнительной власти и государственных корпораций, работах, опубликованных в материалах международных, всероссийских, отраслевых и межведомственных конференций, в расчете на 100** исследователей (ед./100 чел.)

Д6 – Общее количество поддерживаемых патентов (свидетельств) в расчете на 100 исследователей (ед./100 чел.).

Д7 – Объем доходов от использования РИД к общей численности работников, выполнявших исследования и разработки (тыс.руб./чел.).

Несколько расширены были направления (ранее функции [3]) деятельности ГНЦ [1], для которых потребовалась разработка соответствующих критериев и показателей. Их предлагается большее количество, чем в [2]: 8 критериев, 8 основных и 10 дополнительных, а именно:

Критерий 4. Выполнение научных исследований и экспериментальных разработок в целях реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации.

Основной показатель:

О4 – Доля исследований и экспериментальных разработок, связанных с реализацией приоритетов научно-технологического развития РФ, в общем объеме выполненных работ (%).

Дополнительные показатели:

Д8 – Общее количество секретов производства (ноу-хау), охраняемых в режиме коммерческой тайны, полученных в отчетный период в расчете на 100 исследователей (ед./100 чел.).

Д9 – Внутренние текущие затраты на научные исследования и разработки, отнесенные к численности исследователей (тыс.руб./чел.).

Д10 – Доля внебюджетных источников финансирования в объеме всех источников финансирования (%).

Критерий 5. Создание и практическое применение на основе результатов интеллектуальной деятельности новых технологий в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации.

Основной показатель:

О5 – Суммарное количество переходов по шкале уровней готовности технологий по всем продвигаемым технологиям, отнесенным к количеству технологий создаваемых и продвигаемых в организации (в отчетный период) (ед.)

Критерий 6. Участие в реализации мероприятий, предусмотренных национальными и федеральными проектами и (или) важнейшими инновационными проектами государственного значения.

Основной показатель:

О6 – Доля исследований и разработок, связанных с реализацией мероприятий, предусмотренных национальными и федеральными проектами и (или) важнейшими инновационными проектами государственного значения (%).

Критерий 7. Участие в создании и (или) обеспечении функционирования необходимой для реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации инфраструктуры научной, научно-технической и инновационной деятельности.

Основной показатель:

О7 – Стоимость основных средств и нематериальных активов в расчете на одного исследователя (фондовооруженность, тыс.руб./чел.).

Дополнительные показатели:

Д11 – Стоимость машин и оборудования в расчете на одного исследователя (техновооруженность, тыс.руб./чел.).

Д12 – Стоимость УО в расчете на одного исследователя (тыс.руб./чел.).

Критерий 8. Развитие своего научно-исследовательского потенциала.

Основной показатель:

О8 – Численность защитивших кандидатские и докторские диссертационные работы в расчете на 100 исследователей (ед./100 чел.)

Дополнительные показатели:

Д13 – Доля исследователей в возрасте до 39 лет в численности исследователей (%).

Д14 – Численность обучающихся аспирантов и докторантов в расчете на 100 исследователей (ед./100 чел.).

Д15 – Наличие научных школ (ед.).

Критерий 9. Развитие своей опытно-экспериментальной базы.

Основной показатель:

О9 – Затраты на развитие опытно-экспериментальной базы, отнесенные к численности исследователей (тыс.руб./чел.).

Критерий 10. Участие в разработке прогноза научно-технологического развития Российской Федерации и отраслевых документов стратегического планирования Российской Федерации.

Основной показатель:

О10 – количество выполненных работ прогнозного характера и разработанных отраслевых документов стратегического планирования Российской Федерации в расчете на 100 работников, выполнявших исследования и разработки (ед./100 чел.).

Критерий 11. Осуществление подготовки и (или) профессиональной переподготовки высококвалифицированных научных работников и специалистов, а также подготовки и (или) профессиональной переподготовки научных и научно-педагогических кадров, в том числе во взаимодействии с российскими образовательными организациями высшего образования.

Основной показатель:

О11 – Численность прошедших подготовку и (или) профессиональную переподготовку в расчете на 100 работников (ед./100 чел.).

Дополнительные показатели:

Д16 – Численность обучающихся, выполняющих работы различного уровня на базе организации (прошедших производственную практику, стажировку, выполнявших выпускные квалификационные работы).

Д17 – Число научно-образовательных структур (научно-образовательные центры, базовые кафедры, лаборатории и др.) (ед.).

Для принятия решения о присвоении (подтверждении) статуса ГНЦ с учетом предлагаемых показателей необходимо установление пороговых значений этих показателей и правил принятия решения. В качестве пороговых значений чаще всего принимаются или медианные значения, или используется распределение по квартилям. Выполнение пороговых значений лежит в основе принятия решения о присвоении (подтверждении) статуса ГНЦ, но при этом правила принятия решения могут быть различными: от назначения определенного количества выполненных основных и дополнительных показателей до вычисления интегрального показателя [4] с дальнейшей проверкой выполнения его порогового значения.

Отметим, что используя основные и дополнительные показатели, могут быть сформированы и целевые показатели реализации Программ деятельности ГНЦ.

Для реализации требований Указа Президента Российской Федерации от 12 августа 2022 г. №546 «О государственных научных центрах Российской Федерации» [1] по присвоению (подтверждению) статуса ГНЦ прежде всего необходимо:

1. Ввести в действие критерии и показатели оценки деятельности ГНЦ и целевые показатели реализации Программ деятельности ГНЦ.
2. Внести соответствующие изменения в форму содержательных отчетов о реализации направлений деятельности ГНЦ за отчетный период.
3. Разработать методические рекомендации по формированию отчетных данных.
4. Внести изменения в структуру и содержание Программ деятельности ГНЦ.
5. Разработать методические рекомендации по разработке и корректировке Программ деятельности организаций, которым присвоен статус государственного научного центра Российской Федерации, на среднесрочный и (или) долгосрочный период, а также порядок мониторинга их реализации.

В заключение отметим, что применение предлагаемых критериев и показателей оценки деятельности ГНЦ позволит не только повысить объективность оценки, но и проводить системный анализ деятельности ГНЦ с последующей разработкой рекомендаций по их дальнейшему развитию.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 12 августа 2022 г. №546 «О государственных научных центрах Российской Федерации».
2. Емелин Н.М. Показатели результативности деятельности государственных научных центров как элементы присвоения (подтверждения) их статуса // Известия Института инженерной физики, 2021. №3(61). С.100-102.
3. Указ Президента Российской Федерации от 22 июня 1993 г. №939 «О государственных научных центрах Российской Федерации».
4. Клюшникова Е.В., Шитова Е.М. Методические подходы к расчету интегрального показателя, методы ранжирования // Электронный научно-практический журнал «ИнноЦентр», 2016. №1(10). С.4-18. [Электронный ресурс]. URL: http://innoj.tversu.ru/Vipusk1(10)2016 (дата обращения 01.10.2019 г.).

УДК 82.02, 372.881.111.1

ДЕЛОВЫЕ ИГРЫ ПРИ ОБУЧЕНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОМУ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

BUSINESS GAME FOR FOREIGN LANGUAGE PROFESSIONAL EDUCATION

Ольга Алексеевна Григоренко
кандидат педагогических наук, доцент
доцент кафедры иностранных языков
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (916) 837-47-18
E-mail: ogrig@yandex.ru

Алексей Викторович Шолохов
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (924) 607-47-88
E-mail: monibwen@gmail.com

Аннотация:
В статье рассматривается деловая игра как метод профессионально-ориентированного обучения иностранному языку на основе контекстной теории.
Ключевые слова: деловая игра; метод обучения; профессионально-ориентированное обучение иностранному языку; контекстная теория.

Summary
The article focuses on a business game as a teaching method of foreign language professional education based on the contextual theory.
Keywords: business game; teaching method; foreign language professional education; contextual theory.

Введение

Иностранный язык в современном мире сегодня служит не только средством коммуникации, но и инструментом познания. Коммуникативная деятельность, как и познавательная, побуждается определенными потребностями, обусловленными в нашем случае будущей профессиональной деятельности курсанта. Это предполагает необходимость владения профессиональной лексикой и вполне определенными представлениями о содержании, ситуациях и технологиях профессиональной деятельности.

Каждому человеку приходится «играть» в жизни ежедневно различные роли. В процессе обучения курсант может выступать как в роли подчиненного, так и в роли командира, исследователя, программиста, обучающегося, обучающего, спортсмена, изобретателя и т.д. При обучении иностранному языку в ситуациях ролевой игры или деловой игры (ДИ) курсант «примеряет» на себя роль определенного должностного лица: курсант – преподаватель, курсант – эксперт, курсант – конструктор, курсант – ракетчик и т.д. Играя роль, курсант включает свое воображение и каждый раз, попадая в новую ситуацию и выполняя новые функции, приобретает новый опыт и развивает воображение. Новые обстоятельства, ситуации предлагают и новые условия выбора дидактических языковых средств.

Большим потенциалом в учебной деятельности обладает ДИ как форма воссоздания предметного и социального содержания профессиональной деятельности, моделирование межличностных отношений, характерных для общения в данной сфере [1]. В условиях ДИ обучающийся приобретает не только специальную профессиональную и языковую компетенции, но и социальную компетенцию, которая предполагает наличие знаний, навыков и умений общения, управления коллективом, способность брать на себя ответственность за свои решения. Ниже обсуждается оригинальный опыт обучения курсантов – военных специалистов на основе ДИ.

Особенности обучения военных специалистов иностранному языку на основе деловой игры

Подготовка ДИ весьма трудоемка и предполагает высокую квалификацию разработчиков. Как правило, проводимые на различных этапах обучения иностранному языку ДИ готовятся совместно со специальными кафедрами. Очень важно проанализировать возможные профессиональные ситуации общения курсантов – бу-

дущих офицеров с иностранными представителями. Проводя анализ, мы обращались к преподавателям – офицерам специальных кафедр для определения возможностей и сфер общения российских офицеров на иностранном языке. При этом следует учитывать и специальности факультетов.

Особенность учебных программ по специальным дисциплинам в военном вузе диктует свои условия проведения ДИ, поскольку ДИ обладает определенными особенностями [2]. Прежде всего, они заключаются в строгом исполнении курсантами задания, инструкции к нему, не привнося в процесс игры неожиданных решений.

В ходе подготовки ДИ курсанты знакомятся и анализируют предлагаемые квазипрофессиональные ситуации, основываясь на знаниях, полученных на военных специализированных кафедрах, и получают языковый материал – сценарий ДИ на иностранном языке. Курсанты получают роли в соответствии со своей подготовкой по языку и по специальности, личностными качествами.

Поскольку период подготовки к ДИ достаточно длительный, для подготовки ДИ можно использовать метод проектов, который превратит сложный подготовительный процесс в творческое задание – разработку интересного стратегического плана. Преподавателю, как организатору ДИ, следует учитывать интересы курсантов при распределении ролей, а при решении единой коммуникативной задачи курсантам предлагается посильная роль в зависимости от их индивидуальных возможностей, способностей и знаний изучаемого языка.

Сценарий ДИ включает разнообразные по условиям и действиям ситуации, поэтому для решения коммуникативных задач требуются различные речевые средства. Таким образом, при подготовке к проведению ДИ целесообразно выделить ситуации и подобрать соответствующие языковые средства. Моделируя конкретные ситуации квазипрофессиональной деятельности военнослужащих, можно успешно использовать метод «кейс-стади».

В ходе коммуникации в меняющихся ситуациях курсанты вырабатывают стратегию профессионального поведения и социального взаимодействия в команде. Деятельность военного инженера достаточно многогранна и строится на научной основе общенаучных дисциплин, военных, технических наук, психологии, педагогики. Предлагаемая ситуация участия в конференции способствует формированию поведенческих умений и навыков профессионального общения. В нашей ДИ курсанты – завтрашние офицеры заинтересованно участвовали в подготовке «Пресс-конференции», проявляли творческий подход на всех этапах и успешно реализовали этот проект.

Рис. 1. Состав участников деловой игры «Пресс-конференция» (сотрудники фирмы «GEO» – курсанты в гражданской форме)

Опыт проведения деловой игры «Пресс-конференция» с курсантами специальности «Применение средств прицеливания и астрономо-геодезического обеспечения»

Педагогический эксперимент проведения ДИ «Пресс-конференция» отличался тем, что ее участниками были выпускники академии после сдачи государственных экзаменов и защиты дипломных работ. Другой особенностью является и то, что эти курсанты – завтрашние офицеры сдали экзамен по иностранному языку два года назад на третьем курсе. При этом именно эти курсанты на четвертом курсе имели опыт участия в Научно-деловой программе Международного военно-технического форума «Армия-2018» [3]. В их обязанности входила «информационная поддержка» посетителей форума, ответы на их вопросы по «географии» экспонатов. Поскольку эту выставку посещают и иностранные гости, курсанты были готовы к использованию своих знаний иностранного языка для общения с ними. Поэтому участие в ДИ «Пресс-конференция», в которой проводилась презентация современного геодезического прибора «Лейка-50», курсантам была профессионально близка.

Сценарий ДИ «Пресс-конференция» был подготовлен со следующими исходными данными. Вид занятия – практическое; цель – привитие первичных практических навыков освоения новых образцов специальной техники иностранного производства; метод и форма проведения – ДИ (ролевая игра), пресс-конференция (презентация). Категория обучающихся: учебная группа (подгруппа) численностью 15-20 человек, качественная характеристика которой дана выше.

Место проведения занятия – специализированная аудитория геодезической направленности или класс для изучения иностранного языка. Помещение оборудовано проектором, 2-3 рабочими местами для установки геодезических при-

Program of the Presentation
of the New Samples of Precise
Geodetic Equipment for The Russian
Strategic Missile Troops
June 11, 2019

Dear Mr.

GEO cooperates successfully with the Ministry of Defence in the field of high-precision geodetic means.

June 11, 2019
GEO gives the presentation of new models of the high-precision geodetic equipment for the Russian Strategic Missile Troops.

We invite you to participate in the presentation.

SERPUKHOV

PROGRAM OF THE PRESENTATION

Time	Event	Place
12^{00}-12^{10}	Registration of participants of the presentation	Conference hall
12^{10}-12^{20}	Opening of the presentation Colonel Mr. Sholokhov A. High-precision devices of GEO – their perspectives.	Conference hall
12^{20}-12^{40}	Cadet Mr. Petrov A. The Laica-1000 tachometer is the best device for the solution of the problems of the geodetic data definition for the Russian Strategic Missile Troops.	Geodetic pavilion
12^{40}-13^{00}	Cadets: Mr. Kradinov V., Mr. Borisov A., Mr. Samsonov P. and Mr. Nazlooyan V. Demonstration of the Laica tachometer functions and advantages.	Geodetic pavilion
13^{00}-14^{30}	Lunch break	
14^{30}-15^{00}	Visit of the enterprise exhibition: Perspective models of means for the solution of the problems of aiming control and definition of geodetic data.	Geodetic pavilion
15^{00}-15^{30}	Discussion of advantages of Laica tachometer at the solution of problems of definition of geodetic data	Geodetic pavilion
15^{30}-15^{40}	Presentation closing *Colonel Mr. Sholokhov A.*	Conference hall

Call 47-22 for more information.

Рис. 2. Программа «Пресс-конференции»

боров, визирными целями. Спецоборудование включает современный геодезический прибор иностранного производства (или линейка таких приборов): тахеометр, нивелир и т.п., «устаревший» аналог прибора. Плакаты, слайды, рекламные материалы (учебные), отражающие ТТХ, принцип действия, основные параметры приборов и методики работы с ними.

Легенда. *Сотрудники* фирмы «GEO» (2-3 наиболее подготовленных курсанта, *рисунок 1*) проводят презентацию нового геодезического прибора, содержащего какое-либо оригинальное техническое решение – ноу-хау *(рисунок 2)*.

На презентацию от различных организаций (частей) командированы *специалисты* (остальные обучающиеся), владеющие в разной степени иностранным языком. Задача каждого *специалиста* – дать обоснованное заключение (письменное) о целесообразности использования прибора для решения тех или иных задач, которые ему поставлены *начальником* (в роли начальника – руководитель занятия).

На презентацию приглашен *переводчик* (1 курсант) для обеспечения общения.

До начала презентации *сотрудники* «GEO» готовят показ прибора. Он включает: сообщение с описанием своего ноу-хау, основных характеристик [4], органов управления; демонстрацию работы (например, измерение отдельного угла, в течение 1-2 минут с комментариями действий), преимуществ прибора. При этом используются слайды и плакат на иностранном языке.

Специалисты получают индивидуальные задания, в котором описывается задача, решение которой возможно с использованием прибора. Содержание заданий формируется на основе конкретных задач из области профессиональной деятельности обучающихся. Каждое задание составляется так, чтобы *специалист* вынужден был понимать *сотрудников* GEO и задавать свои вопросы на иностранном языке для получения недостающих ему сведений.

Возможны следующие дополнения.

А. Перед занятием *специалисты* готовят «разговорник» с включением специальных терминов.

Б. Отдельно готовятся рекламные материалы (учебные) для *специалистов*, в которых на иностранном языке приводятся: назначение прибора, его основные характеристики, состав и т.п. (*рисунок 3*). Они лежат на видном месте в свободном доступе.

В. Перед началом презентации проводится регистрация участников. *Сотрудники*-регистраторы заранее составляют список участников (список учебной группы на иностранном языке). *Специалисты*, заходя в аудиторию, называют себя по-английски, получают от *сотрудника*-регистратора рабочие материалы (рекламные учебные материалы, программку презентации, «бейдж» и т.д.).

В ходе презентации *сотрудники* GEO по очереди рассказывают о приборе, стараясь акцентировать внимание на его назначении, возможных областях применения, а также наиболее важных и интересных для *специалистов* деталях и функциях, составляющих ноу-хау и преимущества.

APPOINTMENT, CHARACTERISTICS AND DEVICE SCOPES

Appointment.

The device is used for automatic high-precision measurement of horizontal and vertical angles between the directions on objects. Besides the device automatically processes all the measurements and gives the user final parameters of coordinates and heights of the set points. During calculations the device corrects the actions of the operator.

Main characteristics

Accuracy of measurement of a horizontal corner between two directions by means of the device is made by 1 angular second. It is about an average square error (root means square error).

Accuracy of measurement of a vertical angle – 1 angular second.

Accuracy of measurement of length of the line depends on the measured distance of D and it is defined according to a formula: 5 мм + D*10^{-6}.

Scopes

The device can be used by the specialists of the Russian Strategic Missile Troops to carry out a geodetic ground work for launching rockets successfully. With its help it is possible to determine coordinates and heights of mine launchers and points for correction of navigation systems. Also by means of the device it is possible to carry out the operation called " direction transfer". It provides rockets aiming with high precision.

The device is especially necessary in wartime when the determination of coordinates by means of GPS is impossible. It takes less time to get geodetic data using Laica tachometer than using "ordinary" geodetic devices.

GEO is always glad to see you among our partners!

Рис. 3. Пример специально-технического раздаточного материала

Рис. 4. Деловая игра в действии: «живое общение» курсантов по специальности на английском языке

Далее *сотрудники* GEO выполняют типовые операции с прибором (подготавливают к работе, на панели управления составляют технический проект работ, горизонтируют и центрируют, измеряют углы, дальности и т.д.) и одновременно комментируют свои действия с использованием специальных терминов (*рисунок 4*). Это наиболее интересная фаза, поскольку общение на иностранном языке не ограничивается рассказом, но дополнительно включает действия, с которыми *сотрудники* и *специалисты* уже хорошо знакомы в результате обучения по своей специальности.

Специалисты **задают вопросы** с места, возле прибора (непосредственно по прибору), просят самому попробовать поработать, записать телефон-адрес, время работы фирмы, стоимость прибора, сроки поставки, гарантийный срок, обслуживание, расположение сервисных центров, сколько лет фирме и т.п. – все возможные вопросы и работы без каких-либо ограничений, «живое общение». Список специальных технических вопросов может быть подготовлен заранее на кафедре (на русском языке) с привлечением обучающихся. Последовательность вопросов от *специалистов* и просьб поработать регулируется одним *сотрудником* – ведущим. Для поддержки общения направляющие вопросы могут задаваться и преподавателем.

Переводчик помогает в формулировке вопросов *специалистам* самостоятельно (когда явно видны затруднения) или по просьбе руководителя занятия, *специалиста*-ведущего. Результаты общения фиксируются преподавателем и используются при определении оценки. Каждый *специалист* задает не менее 3 вопросов. В учебных целях – на русском и английском языках.

Заключение

Приводился опыт обучения курсантов профессионально-ориентированному иностранному языку на основе деловой игры. Раскрыто содержание подготовки и проведения практического занятия, его обеспечение и условия успешного проведения. Приведен пример проведения деловой игры «Пресс-конференция» с курсантами специальности «Применение средств прицеливания и астрономо-геодезического обеспечения».

Показано, что использование ДИ позволяет развивать и формировать активную познавательную деятельность курсантов – мотивированные, творческие коммуникативные взаимодействия со своими коллегами в процессе профессионально-ориентированного обучения иностранному языку.

Литература

1. Вербицкий А.А. Контекстное обучение иностранному языку / А.А. Вербицкий, О.А. Григоренко. Монография. Серпухов: ФВА РВСН, 2011. 206 с.
2. Шолохов А.В. Точность расчета. Проблемные вопросы подготовки офицерских кадров для решения задач контроля прицеливания и астрономо-геодезического обеспечения РВСН и пути их решения / А.В. Шолохов, А.В. Кулак, А.С. Лычагов // Вестник военного образования, 2020. №2(23). С.60-63.
3. Международный военно-технический форум «АРМИЯ-2021», 22-28 августа 2018г. [Электронный ресурс] https://www.rusarmyexpo.ru/ army2020/ army_archive/ armyarchive2018/ army18ndp/ Загл. с экрана. Дата обращения: 25.05.2021.
4. Leica TPS. Руководство пользователя. [Электронный ресурс] https://www.gfk-leica.ru/ files/ catfiles/tps/Leica_TPS_User_Manual_ru.pdf. Загл с экрана. Дата обращения: 23.05.2021.

AUTHORS

Aksyonov Anatoly V. Engineer. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Anpilogov Mikhail A. Head of Scientific and Technical Department №1. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Astrakhov Alexey V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Bauman MSTU. Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5.

Atakischev Oleg I. Honorary Worker of Science and High Technologies of the Russian Federation. Doctor of Technical Sciences, Professor. Deputy General Director for Special Projects. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoi Udarny l., 1a.

Bashaeva Elvira R. Postgraduate student of the Information Security Department of Bauman MSTU. Moscow, Dekabristov str., 20, b.1.

Bodryshev Valerij V. Candidate of Technical Sciences. Associate Professor. Moscow Aviation Institute (National Research University) Moscow, Volokolamskoe highway, 4.

But Roman O. Design engineer. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Butyrsky Igor F. Leading Information Security Engineer. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Chistyakova Anna V. Head of the Pharmaceutical Quality System Control Department, Pharmaceutical Quality Service. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a, b.1.

Elistratov Alexander V. Leading engineer. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Emelin Nikolay M. Honored Scientist of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Institution «STIII». Moscow, Zorge street, 22.

Ermakov Artem M. Candidate of Biological Sciences. Leading Researcher. Institute of Engineering Physics. Senior Researcher Institute for Theoretical and Experimental Biophysics RAS. Deputy General Director – chief designer JSC «Stoletika». Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Erunov Anatoly A. Candidate of Technical Sciences, lecturer of the Department of networks and communication systems of space complexes. Military space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

Glebov Sergey A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Associate Professor. Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Goranov Miroslav Z. Junior researcher of the 2nd department of the 1st research center (special control). FGKU «12 central research institute» of the Ministry of Defense of Russia. Moscow reg., Sergiev Posad-7, Vesennaya str., 26.

Gribunin Vadim G. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation. Doctor of Technical Science. Associate Professor. Chief Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Grigorenko Olga A. Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor Associate Professor of the Department of Foreign Languages. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Gukov Ilya M. Leading programmer-developer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Karaev Dmitrij A. The chief of communication – the deputy chief of the headquarters of the Strategic Missile Troops for communication. Moscow, K-160.

Khodyrev Timofey B. Senior Inspector for Special Assignments. Federal Service of the National Guard of the Russian Federation. Moscow, Krasnokazarmennaya str., 9A.

Kholod Denis A. Postgraduate student, Senior lecturer. Bauman MSTU. Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5.

Korneev Aleksandr A. Senior Lecturer. Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Korneev Igor I. Candidate of Technical Sciences. Associate Professor. Head of department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Korotkiy Oleg A. Candidate of Technical Sciences. Chief of Staff of the General Director, Executive Secretary. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Korovin Ivan I. Assistant of the Information Security Department of Bauman MSTU. Moscow, Dekabristov str., 20, b. 1.

Krasnova Yulia V. Candidate of Technical Sciences. Chief technologist, Pharmaceutical production. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a, b.1.

Kolombet Valeriy A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Head of the laboratory. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Larin Artem A. Head of measuring complex. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Lesnykh Vadim N. Junior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Levanov Denis V. Postgraduate student. Military space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

Libman Mikhail S. Candidate of Technical Sciences. Department head. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Loskutov Sergey A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Lysachev Mikhail N. General Director of JSC «Consist- OS». Moscow, Projected passage №4062, 6, p. 25.

Makeev Maxim I. Researcher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

AUTHORS

Mamontov Anton N. Candidate of Technical Sciences. Leading researcher of the 1-st research center (special control). FGKU «12 central research institute» of the Ministry of Defense of Russia. Moscow reg., Sergiev Posad-7, Vesennaya str., 26.

Mazin Anatoly V. Doctor of Technical Sciences. Professor. Head of «Information Security». Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Miroshnikov Evgeny M. Leading researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a, b.1.

Nakonechny Andrey B. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a, b.1.

Nikitin Andrey K. Software engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a, b.1.

Nikolaev Pavel V. Candidate of Technical Science. Head of the group. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Pashaeev Oleg F. Candidate of Technical Science. Deputy head of department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Pavlov Alexandr A. Doctor of Technical Sciences, Professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Pavlov Fedor A. Researcher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Petrishchev Nikita V. Head of the Information Security Group. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Popov Alexandr V. Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Rogovoi Andrey V. Candidate of Technical Sciences. Leading researcher of the 1-st department of the 1st research center (special control) FGKU «12 central research institute» of the Ministry of Defense of Russia. Moscow reg., Sergiev Posad-7, Vesennaya str., 26.

Romanenko Alexandr Y. Candidate of Technical Sciences. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Romanenko Yuriy A. The honoured worker of a science of the Russian Federation. Doctor of Technical Sciences. Professor. Senior Researcher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Rudnev Denis S. General manager JSC «Stoletika». Moscow reg., Serpukhov, Moscow highway, 42, apt. 106.

Rybin Igor A. Candidate of Technical Sciences. Chief of the 1-st research center (special control). FGKU «12 central research institute» of the Ministry of Defense of Russia. Moscow reg., Sergiev Posad-7, Vesennaya str., 26.

Samburov Nikolai V. Chief of laboratory. JSC «TYPHOON». Kaluga, Grabtsevskoe Shosse, 174.

Seliverstov Alexander V. Cadet. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sholokhov Aleksei V. Doctor of Technical Sciences, Professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Skryl Kirill S. Candidate of Technical Sciences. Leading Specialist of the Information Security Department of JSC IVK. Moscow reg., Khimki, Herman Titov str., 14, b.2.

Smirnov Dmitriy V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, associate professor. Full member of the Academy of Engineering Sciences. Professor of the Department FSBEI of HE MAI (NRU). First Vice President of the Institute. Institute of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Stadnik Alexander N. Candidate of Sciences in Military. Associate Professor. Head of Department. Krasnodar Higher Military School named for Army General S.M. Shtemenko. Krasnodar, Korenovskaya str., 71.

Starozhuk Evgeny A. Candidate of Economic Sciences. Associate Professor. Head of the Department. Bauman MSTU. Moscow, 2nd Bauman str., 5 p. 1.

Sukharev Viktor G. Leading researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Toiskin Vasiliy E. Candidate of Technical Sciences. Associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Tsimbal Vladimir A. Honored worker of a science of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, professor. The leading scientific employee. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Tsvetkov Kirill Yu. Doctor of Technical Sciences. Professor. Military space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.

Tzar'kova Elena A. General manager. Medical clinic «AxioMed». Moscow reg., Serpukhov, st. 2nd Moscow, 6, building 5, room 4A.

Vrublevsky Nikolay F. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, st. Bazhenova, 2.

Zarubin Vladimir S. Doctor of Technical Sciences. Professor. Leading Researcher, Federal State Institution «Scientific Research Center «Protection» of the Federal Service of the National Guard Troops of the Russian Federation». Moscow, Reutovskaya str., 12b.

Zelenevsky Vladimir V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Force. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Zelenevsky Yury V. Doctor of Technical Sciences, associate professor. Researcher. Military Academy of the Strategic Missile Force. Moscow Reg., Balashikha, Karbysheva st., 8.

ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Редакционный совет и редакционная коллегия научно-технического журнала «Известия Института инженерной физики» придерживаются принятых международным сообществом принципов публикационной этики, отраженных, в частности, в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Все статьи, предоставленные для публикации в журнале «Известия Института инженерной физики», проходят рецензирование на оригинальность, этичность и значимость. Соблюдение стандартов этического поведения важно для всех сторон, принимающих участие в публикации: авторов, редакторов журнала, рецензентов, издателя.

ОБЯЗАННОСТИ РЕДАКТОРА

Редактор в своей деятельности обязуется:

- постоянно совершенствовать журнал;
- следовать принципу свободы мнений;
- стремиться к удовлетворению потребностей читателей и авторов журнала;
- исключать влияние интересов бизнеса или политики на принятие решений об опубликовании материалов;
- принимать решения на основании принципа справедливости и беспристрастности, обеспечивать прозрачность редакционной деятельности на всех ее этапах;
- не раскрывать информацию о предоставленных материалах никому, кроме соответствующих авторов, рецензентов, других редакционных консультантов;
- оценивать рукописи исключительно по их научному содержанию;
- принимать решение о публикации материалов, руководствуясь следующими главными критериями: соответствие рукописи тематике журнала; актуальность, новизна и научная значимость представленной статьи; ясность изложения; достоверность результатов и законченность выводов. Качество исследования и его актуальность являются основой для решения о публикации;
- принимать меры для обеспечения высокого качества публикуемых материалов и защиты конфиденциальности персональной информации. При обнаружении содержательных, грамматических, стилистических и иных ошибок редакция обязуется предпринимать все меры для их устранения;
- обосновать свое решение в случае принятия или отклонения статьи;
- предоставить автору рецензируемого материала возможность для обоснования своей исследовательской позиции;
- поощрять дискуссии и предоставлять возможность для изложения точки зрения оппонентов;
- не использовать в собственных исследованиях информацию из неопубликованных материалов.

ОБЯЗАННОСТИ ЧЛЕНОВ РЕДСОВЕТА (РЕДКОЛЛЕГИИ)

Решение о публикации.

Редсовет (редколлегия) журнала «Известия Института инженерной физики» являются ответственными за принятие решения о том, какие статьи будут опубликованы в журнале. Решение принимается на основании представляемых на статью рецензий

Редсовет (редколлегия) придерживаются политики журнала и действуют в рамках законных требований, поскольку несут ответственность за нарушение авторских прав.

Конфиденциальность.

Рецензенты или кто-либо из сотрудников редакции не должны разглашать никакую информацию о предоставленной рукописи кому-либо, кроме самого автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, членов редакционного совета (коллегии) и издателя, поскольку она является конфиденциальной.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Неопубликованные материалы, находящиеся в предоставленной статье, не должны быть использованы в собственном исследовании научного редактора и рецензентов без специального письменного разрешения автора.

ОБЯЗАННОСТИ РЕЦЕНЗЕНТОВ

Рецензенты оказывают помощь членам редакционного совета (редколлегии) при принятии редакционного решения, а также помогают автору усовершенствовать работу.

Конфиденциальность.

Любые рукописи, полученные для рецензирования, должны восприниматься как конфиденциальные документы. Они не могут быть показаны либо обговорены с другими лицами, кроме тех, которые уполномочены редакцией.

Подтверждение источников.

Рецензенты должны идентифицировать опубликованную работу, которая не была процитирована автором. Любое утверждение, что наблюдение, происхождение либо аргумент ранее были сообщены, необходимо сопровождать соответствующей ссылкой. Рецензент должен также донести до сведения редакции о любой существенной схожести или частичном совпадении между рукописью, которая рецензируется, и другой уже опубликованной работой, которая ему знакома.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Приватная информация или идеи, возникшие в процессе рецензирования, должны остаться конфиденциальными и не могут быть использованы в личных интересах. Рецензент не должен рассматривать рукопись, если имеет место конфликт интересов в результате его конкурентных, партнерских либо других отношений или связей с кем-либо из авторов, компаний или организаций, связанных с материалом публикации.

ОБЯЗАННОСТИ АВТОРОВ

Оригинальность и плагиат.

Авторы должны гарантировать, что они написали полностью оригинальную работу. Если авторы использовали работу и/или слова других авторов, это должно быть соответственно указано и процитировано.

Доступ к данным и сохранность.

Автор должен быть готов обеспечить доступ к данным, связанными с материалом публикации, если таковой возможен. Во всяком случае, автор должен быть готов сохранять такие данные на протяжении разумного периода времени после опубликования.

Многоразовая, избыточная или конкурирующая публикация.

Автор не должен публиковать работы, которые описывают по сути одно и то же исследование, более чем один раз или более чем в одном журнале.

Предоставление рукописи более чем в один журнал одновременно означает неэтичное издательское поведение и является недопустимым.

Подтверждение источников.
Необходимо предоставлять должное подтверждение работ других авторов. Авторы должны процитировать публикации, которые имели значение при создании заявленной работы.

Авторство материала.
Авторство необходимо ограничить теми лицами, которые внесли ощутимый вклад в концепцию, проект, исполнение или интерпретацию заявленной работы. Всех, кто внес ощутимый вклад, следует внести в список соавторов.

Автор должен гарантировать, что список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали согласие на ее публикацию.

Раскрытие информации и конфликт интересов.
Все авторы должны сообщать, если в их работе имеется финансовый либо другой конфликт интересов, который может повлиять на результаты или интерпретацию их рукописи.

Ошибки в опубликованных работах.
Если автор обнаружит существенную ошибку или неточность в своей опубликованной работе, его обязанность – незамедлительно сообщить об этом в редакцию журнала или издателю и сотрудничать с редакцией при исправлении ошибок.

НАРУШЕНИЯ

При возникновении ситуации, связанной с нарушением публикационной этики со стороны редактора, автора или рецензента, требуется ее обязательное рассмотрение. Редакционный совет (редколлегия) обязана потребовать разъяснения, без привлечения лиц, которые могут иметь конфликт интересов с одной из сторон.

Если материал, содержащий значительные неточности, был опубликован, он должен быть незамедлительно исправлен в форме, доступной для читателей и систем индексирования.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:
- в электронном виде (Word 2003). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!
- на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:
- рубрика журнала (см. *Приложение 1*);
- УДК;
- название статьи с переводом на английский язык;
- имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (**Литература**) размещается в конце статьи.

После литературы помещаются:
- список ключевых слов, краткая аннотация (на русском и английском языках).

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):
- ФИО;
- ученая степень, ученое звание, должность и место работы с переводом на английский язык;
- адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:
- точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);
- выверенность статьи в компьютерном наборе;
- полное соответствие файла на электронном носителе и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.
Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

РУБРИКАЦИЯ ЖУРНАЛА «Известия Института инженерной физики»

Постоянные рубрики

- **Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы.**
- **Радиотехника и связь.**
- **Информатика, вычислительная техника и управление.**

Разовые рубрики

- **Техника специального назначения.**
- **Инновационные проекты.**
- **Техническое регулирование.**
- **Профессиональное образование.**
- **Искусственный интеллект и робототехника.**
- **Медицина и фармацевтика.**
- **Диагностические системы.**
- **Научные обзоры. Научные рецензии. Отзывы.**

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.

AUTONOMOUS NON-PROFIT ORGANIZATION
"INSTITUTE OF ENGINEERING PHYSICS"

CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION–MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

Anpilogov M.A., Libman M.S.
Computer simulator CMS «"Bal-E»..... 2

Korotkiy O.A., Vrublevsky N.F., Loskutov S.A., Glebov S.A.
About methods for controlling the gap between the transducer and the object 8

Korotkiy O.A., Loskutov S.A., Korneev A.A.
Mobile robot control systems 11

Kolombet V.A., Lesnykh V.N., Elistratov A.V.
Additional definition of the quaternion 16

Rybin I.A., Rogovoi A.V., Goranov M.Z., Mamontov A.N., Seliverstov A.V.
A method for calculating the frequency characteristics of acoustic spatial noise-canceling devices at infrasound stations 19

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Nikolaev P.V., Aksyonov A.V.
Method for assessing radar observability 22

Bodryshev V.V., Larin A.A.
Defectoscopy of radio-transparent shelters. Detection and visualization of defects 26

But R.O., Samburov N.V.
Ultra-wideband VHF whip antenna 31

Samburov N.V.
The trajectory sections are extreme for the measurer 34

Aksyonov A.V., Samburov N.V.
Interval of time correlation of echo signals from surface objects 38

Tsimbal V.A., Toiskin V.E.
Multi-frequency MIMO radio channel in the decameter range: main provisions and directions of research 42

Tsimbal V.A., Karaev D.A.
Mathematical model of redundancy of directions of the information radio network of the Strategic Missile Forces connection by satellite channels in the conditions of EC 48

Tsvetkov K.Y., Erunov A.A., Levanov D.V.
The simulation model of a satellite stegochannel in transmission environment with errors 51

Zelenevsky V.V., Popov A.V., Zelenevsky Y.V., Nakonechny A.B.
Statistical quality assessment rice radio channel of meter band 56

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Mazin A.V., Stadnik A.N., Skryl K.S., Korovin I.I., Bashaeva E.R.
Optimization of anti-virus protection in automated control systems for special purposes: formal grounds for the allocation of a temporary resource 59

Butyrsky I.F., Petrishchev N.V.
A method of data transmission between copper lines of information and telecommunication networks separated by an «air gap» without the use of removable storage media 64

Starozhuk E.A., Zarubin V.S., Mazin A.V., Astrakhov A.V., Khodyrev T.B.,Kholod D.A.
Methodological aspects of assessing the effectiveness of countering violations of the protection regime of seaports in the arctic zone 68

Gukov I.M., Miroshnikov E.M., Nikitin A.K., Sukharev V.G.
Adaptation of the image digitization algorithm to brightness variations of an object 73

Pavlov A.A., Romanenko Y.A., Korneev I.I., Pashaeev O.F., Makeev M.I., Pavlov F.A., Romanenko A.Y.
Methodical apparatus for correcting errors when performing arithmetic operations 77

Atakishchev O.I., Gribunin V.G., Lysachev M.N., Smirnov D.V.
The metagrammarsc approach of hierarchy analysis and the specifics of its application in the creation of information security systems for low-power nuclear power plants 82

MODERN MEDICINE AND PHARMACEUTICS

Krasnova Y.V., Chistyakova A.V.
Medicine «TAMERON®» standardization by IR-spectrometric 89

Ermakov A.M., Rudnev D.S., Tzar'kova E.A.
Nanopore DNA and RNA sequencing – an advanced technology for determining nucleotide sequences 92

SCIENTOMETRY

Emelin N.M.
Criteria and performance indicators of state scientific centers 97

PROFESSIONAL EDUCATION

Grigorenko O.A., Sholokhov A.V.
Business game for foreign language professional education 100

AUTHORS 105

THE ETHICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS 107

REQUIREMENTS TO AUTHORS 108

Учредитель и издатель – АНО «Институт инженерной физики».
Адрес: 142210,
Московская обл., г.о. Серпухов, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а, стр. 1.

Подписной индекс: 59190
по каталогу «Урал-Пресс»

Адрес редакции: 142210, Московская обл.,
г.о. Серпухов, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а, стр.1.
Тел: +7 (4967) 35-31-93, 35-13-71
Факс: +7 (4967) 35-44-20 http://www.iifrf.ru
E-mail: info@iifmail.ru

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС 77-84007 от 30.09.2022
Отпечатано на полиграфической базе АНО «ИИФ».
Адрес: 142210, Московская обл., г.о. Серпухов, г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а, стр. 1.
Подписано в печать 27.01.2023.
Дата выхода в свет 3.02.2023. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Автономная некоммерческая организация «Институт инженерной физики», 2023.

Автономная некоммерческая организация «Институт инженерной физики»

142210, Московская обл., г. о. Серпухов, г. Серпухов, Большой Ударный переулок, д. 1а, стр. 1
http://www.iifrf.ru e-mail:info@iifmail.ru
Тел.: +7(4967) 35-31-93, 35-13-71, +7 (499) 400-05-75, факс: +7(4967) 35-44-20