

№ 3⁺⁰
2023 [69]

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ –
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР МЕЖДУНАРОДНОГО
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ФОРУМА
«АРМИЯ-2023»**





ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 Коробков А.А., Кулик М.В., Садекова А.А.

Оптимизация режимных параметров ожигателя азота, работающего в составе системы переохлаждения жидкого метана в рефрижераторном режиме

7 Мисягин А.А.

Технология оплаты Dual Pay для эквайринговых терминалов

12 Сычёв М.П., Усатиков С.В., Мазин А.В., Кулиш О.А., Лоскутов С.А.

Оптимизация параметров интегрально-оптических элементов подсистемы аутентификации коммутационного оборудования волоконно-оптических линий

17 Порядина Д.А., Кучменко Т.А., Бузакин И.С., Коноваленко Д.В., Боев И.С.

Применение УФ-спектрофотометра для экспрессного определения эксплуатационных свойств дизельных топлив в режиме «на месте»

24 Прохорцов А.В., Хрячков М.В.

Метод компенсации линейной погрешности фазированной антенной решетки

30 Лесных В.Н., Коломбет В.А., Елистратов А.В.

Рекуррентные натуральные мультипликаторы

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

35 Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский А.В., Попов А.В., Наконечный А.Б.

Оптимизация параметров корректирующих кодов в системах радиосвязи с расширенным спектром по методу прямой модуляции ПСП

40 Захаров В.Л., Смирнов Д.В., Казаков Р.Р., Ключкин А.К.

Особенности построения структурных схем спектрозональных оптико-электронных средств

44 Присяжнюк С.П., Осипов Г.К., Чернов И.В.

Вербальная модель формирования единого геоинформационного пространства

52 Гринёв Е.М.

Сравнительный анализ среднего уровня напряженности поля помех в различные сезоны года

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

58 Бутрина Е.П., Олейников В.П.

Атака – модель и показатели

67 Кузьмин Н.В., Бессонов М.А.

Стратегии тестирования безопасности разрабатываемых приложений

73 Смулов С.В., Волков Г.Г.

Обобщенные унитарные группы симметрий в многомерной телепортации

83 Блинов К.А., Иванин Е.М., Али Б., Широков А.И., Коробков А.А.

Оценка качества построения 2D карт глубины дорожных сцен с использованием библиотеки MiDaS

89 Фёдорова В.А., Викулов И.В.

Методика экономической оценки при различных сценариях сбоев в программно-конфигурируемых сетях

93 Кондаков С.Е., Архипов А.Н.

Математическая модель эксплойта, внедренного в файл неисполняемого формата

96 Руденко Э.М., Сергеев П.М.

Оптимизационные задачи на входном участке траектории летательного аппарата при совершении спуска в атмосфере

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

106 Бугаков А.И., Бугаков И.А.

Базисные Принципы автономизации робототехнических комплексов военного назначения на основе интеллектуализации

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

112 Емелин Н.М., Артамонов Ю.Н.

Проблема управления пространственным научно-технологическим развитием России

115 AUTHORS

117 ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

118 ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ

Института инженерной физики

№3 (69) 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 ЦНИИ МО РФ»
заслуженный деятель науки РФ, заслуженный
изобретатель РФ, лауреат Государственной
премии РФ, лауреат премии Правительства РФ,
доктор технических наук, профессор

Сергей Владимирович Дворянkin

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 научный сотрудник Центра научно-
информационных исследований по науке,
образованию и технологиям Института научной
информации по общественным наукам РАН, почетный
работник науки и техники РФ, доктор экономических
наук, профессор

Игорь Анатольевич Шеремет

заместитель директора Российского фонда
фундаментальных исследований по науке,
академик РАН, доктор технических наук, профессор

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 Зеленовский
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 Смулов
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



**Александр Григорьевич
Муранов**

Вице-президент АНО «Институт
инженерной физики»

Участие в армейских форумах –
залог интенсификации развития Института

Начиная с 2013 года наш Институт традиционно является активным участником и официальным партнером крупных конгрессно-выставочных мероприятий, проводимых МО РФ. Дни инноваций Минобороны, ежегодные международные военно-технические форумы стали для Института эффективной площадкой демонстрации первым лицам государства, представителям МО РФ, отечественным специалистам и зарубежным партнерам инновационных разработок и новых технических решений оборонного и социального назначения.

Текущий год не стал исключением. На форуме «Армия-2023» участники и посетители на экспозиции Института смогут ознакомиться с уже разработанными и перспективными системами. В частности, будут представлены: комплекс специальных сооружений и высокоточных средств топогеодезического и навигационного обеспечения, навигационно-геодезический и гравиметрический полигоны, методики и программы обеспечения комплексного решения межвидовых задач и повышения точности определения исходных геодезических данных; локальная система автономного пожаротушения «Огнеборец», обеспечивающая своевременное обнаружение и тушение возгораний, а также недопущение их повторного возникновения; новая линейка средств медицинского обеспечения и инновационных препаратов, в том числе генератор низкотемпературной газовой плазмы, являющийся прорывным высокотехнологичным средством биомедицинского назначения, используемым при лечении инфицированных ран и язв, лекарственные препараты «ТАМЕРОН®», применяемые для комплексной терапии острых и хронических заболеваний, регулирующие активность иммунных клеток и повышающие устойчивость организма к различным инфекциям; системы локального обогрева для обеспечения жизнедеятельности человека, в том числе ранее не экспонировавшиеся комбинезон водолаза с активной термозащитой, спортивные костюмы и термобелье.

Немаловажную роль для налаживания взаимовыгодных контактов с руководством органов военного управления, видов и родов войск сыграет участие Института в насыщенной программе форума «Армия-2023», предназначенной для поиска путей обеспечения максимальной кооперации научного и производственного потенциалов России, направленной на развитие высокотехнологичной продукции военного и двойного назначения.

В рамках работы форума планируется обсудить насущные вопросы перспектив развития военных технологий в интересах ВС РФ, в том числе технологий искусственного интеллекта, беспилотных летательных аппаратов и другой робототехники, биомедицинских технологий и военной медицины в целом, боевой экипировки, автоматизации процессов доведения геопро пространственной информации и др.

«Армия-2023» – это установление новых контактов, поиск новых партнеров и заказчиков и, что очень важно, участники форума смогут узнать мнения лиц, принимающих решения по ключевым вопросам разработки, производства и внедрения перспективных образцов ВВТ. «Армия-2023» станет действенным импульсом для дальнейшего развития военно-технического сотрудничества и будет способствовать открытию новых перспектив укрепления научно-технических и производственных кооперационных связей.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 66.045.7

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОЖИЖИТЕЛЯ АЗОТА, РАБОТАЮЩЕГО В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОГО МЕТАНА В РЕФРИЖЕРАТОРНОМ РЕЖИМЕ OPTIMIZATION OF OPERATING PARAMETERS OF A NITROGEN LIQUEFIER OPERATING AS PART OF A LIQUID METHANE SUPERCOOLING SYSTEM IN REFRIGERATED MODE

Алексей Александрович Коробков
почётный работник науки и
высоких технологий Российской Федерации
кандидат технических наук, доцент
начальник научно-методического управления
АНО «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г.о. Серпухов,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1А, стр. 1
Тел.: +7 (496) 735-31-93
E-mail: korobkow@iifmail.ru

Максим Васильевич Кулик
старший научный сотрудник
научно-методического управления
АНО «ИИФ»
Тел.: +7 (903) 797-36-67
E-mail: mklik@mail.ru

Альфия Абдрякибовна Садекова
младший научный сотрудник
научно-методического управления
АНО «ИИФ»
Тел.: +7 (916) 644-72-38
E-mail: tienkiss83@mail.ru

Аннотация

Поставлена и решена задача термодинамической оптимизации режимных параметров ожижителя азота, работающего в составе системы переохлаждения жидкого метана в рефрижераторном режиме. В результате решения данной задачи определены: удельная работа, требуемая для ожижения 1 кг азота; характеристики теплообменного оборудования и детандер-компрессорного агрегата; режимные параметры во всех расчетных точках. Выявлено: для рефрижераторного режима применение влажно-парового детандера позволяет увеличить холодопроизводительность цикла на 18% при тех же затратах работы. Определено оптимальное сочетание параметров: давление прямого (дроссельного) потока (1,2 МПа) и доля прямого (дроссельного) потока (0,26) для ожижителя азота.

Ключевые слова: математическое моделирование, ожижитель азота, ракета-носитель, рефрижераторный режим, сжиженный метан, система охлаждения, теплообменный аппарат, термодинамическая оптимизация.

Summary

The problem of thermodynamic optimization of the operating parameters of a nitrogen liquefier operating as part of a liquid methane supercooling system in refrigerated mode is posed and solved. As a result of solving this problem, the following were determined: the specific work required for liquefaction of 1 kg of nitrogen; characteristics of heat exchange equipment and expander-compressor unit; operating parameters at all design points. It was revealed: for the refrigerator mode, the use of a wet-steam expander allows to increase the cooling capacity of the cycle by 18% at the same work costs. The optimal combination of parameters was determined: the pressure of the direct (throttle) flow (1,2 MPa) and the proportion of direct (throttle) flow (0,26) for the nitrogen liquefier.

Keywords: mathematical modeling, nitrogen liquefier, booster, refrigerated mode, liquefied methane, cooling system, heat exchanger, thermodynamic optimization.

Введение

Использование переохлаждённого жидкого метана (ЖМ) в качестве горючего в ракетном топливе является одним из перспективных направлений развития криогенных заправочных комплексов стартовых систем. Некоторые вопросы использования переохлаждённых компонентов ракетного топлива рассмотрены в работах [1-4]; варианты организации технологического процесса переохлаждения ЖМ с использованием холода жидкого азота (ЖА) – в работе [5].

Показано, что с использованием предложенной в [5] технологической схемы возможно получение переохлаждённого ЖМ с температурой, близкой к температуре тройной точки метана (90,7 К), что позволит, например, при заправке ракеты-носителя ЖМ массой $8 \cdot 10^3$ кг, переохлажденным на 18 К ниже температуры кипения, увеличить массу заправляемого горючего на $4,68 \cdot 10^3$ кг (~6%) [6], а также увеличить продолжительность нахождения ракеты-носителя на стартовом столе без потерь от испарения

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

компонента топлива. Оптимизация режимных параметров ожижителя азота, работающего в составе системы переохлаждения ЖМ в ожижительном режиме рассмотрена в работе [7].

Данная статья посвящена оптимизации режимных параметров ожижителя азота, работающего в составе системы переохлаждения ЖМ в рефрижераторном режиме.

1. Постановка задачи оптимизации режимных параметров

Для оптимизации режимных параметров ожижителя азота, работающего в составе системы переохлаждения ЖМ в рефрижераторном режиме, в качестве оптимизируемых параметров сле-

дует принять следующие характеристики ((целевые функции), п. 1), оптимизируемые режимные параметры (п. 2) с учётом требований, предъявляемых к системе охлаждения ЖМ ((зависимых переменных) п. 3), представленные в таблице 1.

1.1. Ожидаемые результаты термодинамической оптимизации ожижителя азота, входящего в состав системы переохлаждения ЖМ:

- величина удельной работы, необходимой для ожижения 1 кг азота в схемах с маслозаполненным и водозаполненным компрессорами;
- требуемые характеристики теплообменного оборудования и детандер-компрессорного агрегата (ДКА);
- технологические параметры в расчетных точках.

Таблица 1

Целевые функции, оптимизируемые параметры, зависимые переменные

№ п/п	Наименование функции (параметра, переменной)	Значение функции (параметра, переменной)
1. Целевые функции		
1.1.	Удельный расход энергии на 1 кг $N_{2ж}$	$I_{уд} \rightarrow \min$
1.2.	Степень термодинамического совершенства	$\eta \rightarrow \max$
2. Оптимизируемые режимные параметры		
2.1.	Давление прямого (дроссельного) потока $N_{2ж}$ после конечного холодильника, МПа	0,8...1,3
2.2.	Доля прямого (дроссельного) потока	0,2...0,4
2.3.	Паросодержание в конце детандирования, %	95
3. Требования, предъявляемые к системе охлаждения СМ (зависимые переменные)		
3.1.	Производительность ОА, кг $N_{2ж}$ в час	1 500,0
3.2.	Чистота азота, об. %	99,5
3.3.	Изотермический КПД маслозаполненного винтового компрессора	0,623
3.4.	Изотермический КПД водозаполненного винтового компрессора	0,747

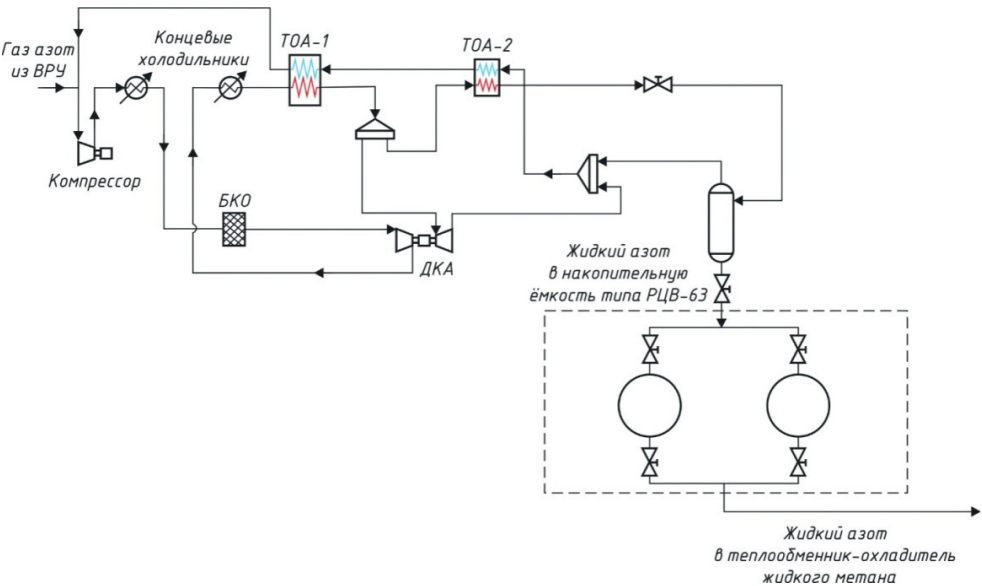


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема системы переохлаждения ЖМ жидким азотом (азотный теплообменник-охладитель на схеме не показан); БКО – блок комплексной очистки и осушки; ВРУ – воздушно-разделительная установка; ДКА – детандер-компрессорный агрегат

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

1.2. Исходные данные для проведения математического моделирования:

- принципиальная схема установки (см. рисунок 1 [8]);
- теплообменные аппараты (ТОА);
- компрессорное оборудование.

1.3. Принятые допущения при математиче-

ском моделировании ожижителя азота, входящего в состав системы переохлаждения ЖМ, работающего в рефрижераторном режиме:

- гидравлические потери в системе – отсутствуют;
- теплопритоки из окружающей среды – отсутствуют;

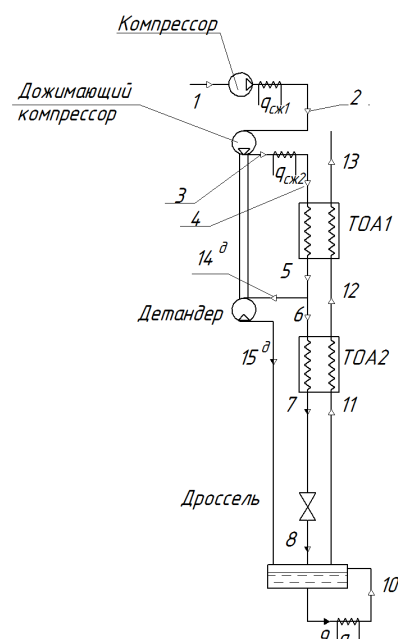


Рис. 2. Расчётная схема для рефрижераторного режима системы ожижения азота

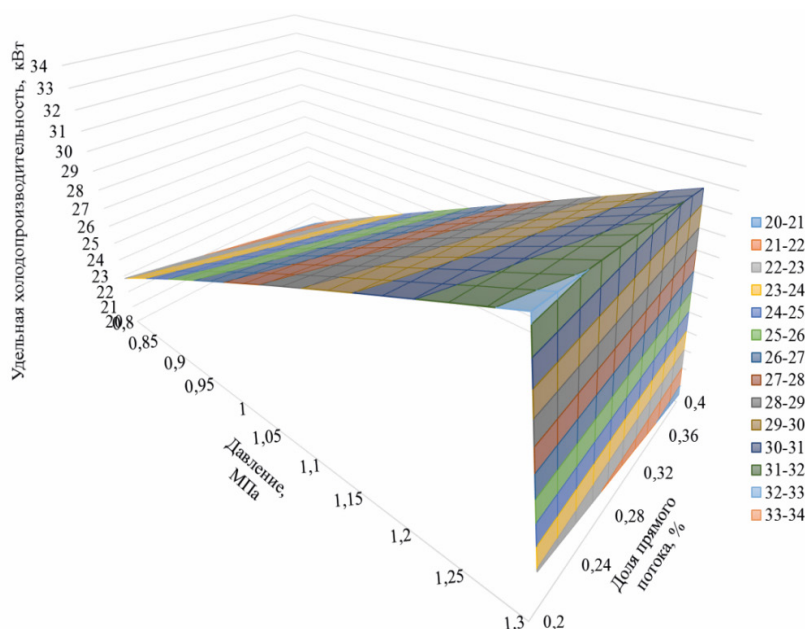


Рис. 3. Зависимость удельной холодопроизводительности рефрижераторного режима с сухим детандером от доли прямого (дроссельного) потока и давления прямого (дроссельного) потока

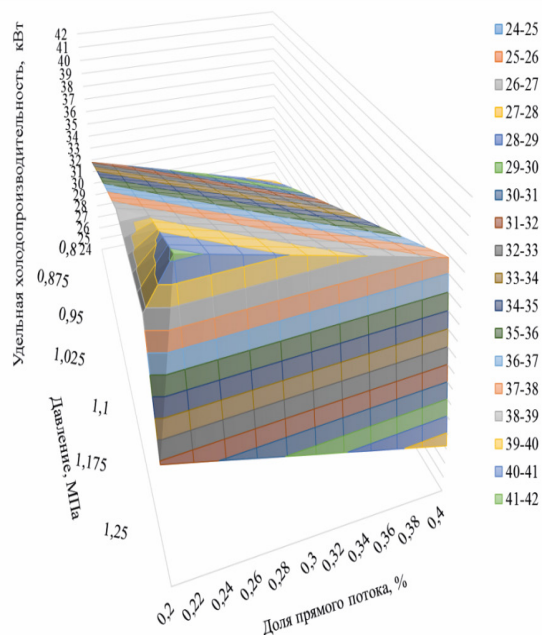


Рис. 4. Зависимость удельной холодопроизводительности рефрижераторного режима с влажно-паровым детандером ($x=0,95$) от доли прямого (дроссельного) потока и давления прямого (дроссельного) потока

- недорекуперация на тёплом конце ТОА 1 – 7 К;
- минимальный температурный напор для ТОА 2 – 1 К;
- давление обратного потока азота – $1 \cdot 10^5$ Па;
- температура газа после конечного охладителя компрессора – 305 К;
- изотермический КПД компрессора – согласно исходным данным;
- изоэнтропный КПД детандера (по рекомендациям [9]) – 0,84;
- длина заправочного трубопровода от системы обеспечения ЖА до теплообменника-охладителя ЖМ (исходя из опыта реализации МТКС «Энергия-Буря») – 800 м;
- тепловая нагрузка – 50 кВт.

1.4. Методы оптимизации

Для определения оптимального режима работы установки в рефрижераторном режиме использовался метод равномерного (слепого) поиска [10]. Выбор данного метода обусловлен непрерывностью области изменения оптимизируемых параметров, а также возможностью проведения большого числа итераций для раз-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

личных сочетаний параметров оптимизации с относительно небольшими затратами времени.

1.5. Параметры оптимизации

● давление прямого (дроссельного) потока азота в точке 5 (рисунк 2): диапазон [0,8; 1,3 МПа]; шаг – 0,025МПа;

● доля прямого (дроссельного) потока в точке 7 (рисунк 2): диапазон [0,20; 0,40]; шаг – 0,02.

Также проводилось сравнение циклов с сухим и влажно-паровым детандером.

2. Оптимизация режимных параметров

2.1. Расчётная схема

Расчётная схема для рефрижераторного цикла представлена на *рисунке 2*.

2.2. Алгоритм оптимизации:

1) определение шага для каждого оптимизируемого параметра;

2) изменение одного оптимизируемого параметра на величину, равную шагу при фиксированных значениях прочих;

3) решение системы уравнений, описывающее материальный и энергетический баланс системы;

4) определение величин целевых параметров: минимальной работы ожижения, степени термодинамического совершенства;

5) повторение п.п. 2-4.

3. Результаты математического моделирования

Результаты математического моделирования представлены на *рисунках 3 и 4*.

Из анализа информации, представленной на

рисунках 3 и 4 видно, что для рефрижераторного режима глобальный максимум холодопроизводительности лежит в области больших давлений, – за пределами исследуемой области.

Таким образом, рекомендуемое сочетание давления прямого (дроссельного) потока и доли прямого (дроссельного) потока должно лежать внутри исследуемой области.

Рекомендуемое сочетание параметров:

● давление прямого (дроссельного) потока азота в точке 5 (*рисунк 2*) – 1,2 МПа;

● доля прямого (дроссельного) потока в точке 7 (*рисунк 2*) – 0,26.

Для определения возможности работы ожижителя азота в данном режиме было смоделировано относительное изменение расхода жидкого азота в зависимости от изменения варьируемых параметров вблизи принятой рабочей точки. Результаты представлены в *таблице 2*.

Действительная работа сжатия азота в компрессоре определяется по формуле:

$$l_t=(1/\eta_T) \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln(p_2/p_1), \tag{1}$$

где η_T – изотермический КПД компрессора;

R – газовая постоянная для азота ($R=287$ Дж/(кг·К));

T_1 – температура на входе в компрессор ($T_1=305$ К);

p_1, p_2 – давления на линиях всасывания и нагнетания компрессора, МПа.

Холодильный коэффициент идеального рефрижераторного цикла:

$$\varepsilon=1/\varphi, \tag{3}$$

где φ – удельные затраты работы на 1 кВт холода ($\varphi=8,49$);

Таблица 2

Значения режимных параметров в расчётных точках для рефрижераторного режима

Расчётная точка (см. <i>рис. 2</i>)	Температура, К	Давление, МПа	Массовый расход, кг/ч	Доля пара
1	305,00	0,100	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
2	305,00	1,200	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
3	358,40	1,792	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
4	305,00	1,779	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
5	143,00	1,792	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
6	143,00	1,792	$1,625 \cdot 10^3$	1,00
7	97,00	1,792	$1,625 \cdot 10^3$	0,00
8	77,20	0,100	$1,625 \cdot 10^3$	0,21
9	77,20	0,100	$6,250 \cdot 10^3$	0,00
10	120,80	0,100	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
11	77,24	0,100	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
12	122,50	0,100	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
13	298,00	0,100	$6,250 \cdot 10^3$	1,00
14 ^a	143,00	1,792	$4,625 \cdot 10^3$	1,00
15 ^a	77,24	0,100	$4,625 \cdot 10^3$	0,95

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Степень термодинамического совершенства:

$$\eta_s = \varepsilon / \varepsilon_{ид} \quad (4)$$

Значение величин l_μ , $\varepsilon_{ид}$, ε , φ , η_s , полученных для рефрижераторного режима, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Параметр	Значение
l_μ , Дж/кг	$5,788 \cdot 10^5$
$\varepsilon_{ид}$	0,364
ε	0,118
j	8,490
η_s	0,164

Выводы

В результате оптимизации режимных параметров ожижителя азота определены значения доли дроссельного потока, а также давления прямого (дроссельного) потока азота в ожижителе, при которых обеспечивается минимум удельной работы ожижения.

Для предложенной технологической схемы ожижителя азота, входящего в состав системы переохлаждения жидкого метана, оптимальным является применение влажно-парового детандера позволяет увеличить холодопроизводительность цикла на 18% при тех же затратах работы. Поэтому рекомендуется использовать влажно-паровой детандер.

Литература

1. Коробков А.А., Кулик М.В., Редькин В.В., Сергеев С.С., Смородин А.И. Структурно-технологическая схема азотной системы охлаждения сжиженного метана для заправки ракеты-носителя среднего класса // Вестник Международной академии холода. 2020, №4. С.27-36.
2. Александров А.А., Денисов О.Е., Золин А.В., Чугунков В.В. Охлаждение ракетного топлива стартовым оборудованием с применением жидкого азота // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2013. №4. С.24-29.

3. Александров А.А., Бармин И.В., Кунис И.Д., Чугунков В.В. Особенности создания и развития криогенных систем ракетно-космических стартовых комплексов «Союз» // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение», 2016. №2. С.7-27.
4. Александров А.А., Бармин И.В., Денисова К.И., Чугунков В.В. Инновационная модель применения жидкого азота для охлаждения ракетного топлива в емкостях заправочных систем наземных комплексов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2017. №3 (114). С.4-17.
5. Коробков А.А., Кулик М.В., Редькин В.В., Сергеев С.С., Смородин А.И. Сопоставительный анализ конкурирующих вариантов принципиальной технологической схемы системы охлаждения сжиженного метана для заправки ракеты-носителя недогретым метаном повышенной плотности // Вестник Международной академии холода, 2020. №3. С.10-20.
6. Александров А.А., Бармин И.В., Павлов С.К., Чугунков В.В. Исследование параметров теплообмена витого теплообменника в двухфазной среде // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки, 2019. №3. С.22-33.
7. Коробков А.А., Кулик М.В., Сергеев С.С., Смородин А.И. Оптимизация режимных параметров ожижителя азота, работающего в составе системы переохлаждения жидкого метана // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2022. №4. С.15-18.
8. Архаров А.М. Основы криологии. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных систем. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 507 с.
9. Розеноер Т.М. Расчет турбодетандера: методические указания по курсу «Турбомашины низкотемпературной техники». М.: УНЦ МГТУ им. Баумана «Криоконсул», 2002. 80 с.
10. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 440 с.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 336.7

ТЕХНОЛОГИЯ ОПЛАТЫ DUAL PAY ДЛЯ ЭКВАЙРИНГОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ DUAL PAY PAYMENT TECHNOLOGY FOR ACQUIRING TERMINALS

Андрей Александрович Мисягин
инженер-программист
ООО «КИТ ИНВЕСТ»
Адрес: 248003, г. Калуга, пер. Малый, д. 8
Тел.: 8(800)350-85-07
E-mail: info@kit-invest.ru



Аннотация

В данной работе рассмотрена новейшая технология оплаты Dual Pay, которая может быть использована для производства банковских (эквайринговых) терминалов оплаты нового поколения, которые могут принимать оплату в касание (посредством различных технологий NFC) как банковскими картами, так и смартфонами (iOS и Android). Использование данной технологии в эквайринговых терминалах решает проблему ухода с российского рынка платежных сервисов Apple Pay и Google Pay, позволяя владельцам смартфонов на ОС iOS и Android совершать привычную им оплату поднесением смартфона к банковскому терминалу. Банковский терминал, использующий технологию Dual Pay, определяет, что именно поднес к нему покупатель и начинает процедуру выполнения платежа.

Ключевые слова: эквайринговый терминал, технология оплаты, система быстрых платежей, банковские карты, бесконтактная оплата, NFC, EMVCo, Visa, Mastercard, МИР, Apple Pay, Google Pay, MirPay, SberPay, СБПэй.

Summary

This paper discusses the latest Dual Pay payment technology, which can be used to produce new generation banking (acquiring) payment terminals that can accept contactless payments (using various NFC technologies) both with bank cards and smartphones (iOS and Android). The use of this technology in acquiring terminals solves the problem of withdrawal from the Russian market of Apple Pay and Google Pay payment services, allowing owners of smartphones on iOS and Android OS to make their usual payment by bringing the smartphone to the bank terminal. A bank terminal using Dual Pay technology determines what exactly the buyer has brought to it and begins the payment procedure.

Keywords: acquiring terminal, payment technology, fast payment system, bank cards, contactless payment, NFC, EMVCo, Visa, Mastercard, MIR, Apple Pay, Google Pay, MirPay, SberPay, SBPay.

Введение

Оплата товаров и услуг с использованием эквайринговых (банковских) терминалов плотно вошла в современную жизнь. Многим людям хорошо известны эквайринговые терминалы таких производителей как Ingenico (Франция), VeriFone (США), Pax (КНР) и других производителей, применяемые для оплаты прикладыванием к ним банковской карты (Visa, Mastercard, МИР) или смартфона (Apple Pay, Google Pay, MirPay).

В начале 2022 года платежные сервисы Apple Pay и Google Pay прекратили свою работу в России. Десятки миллионов людей остались без привычной им возможности оплаты товаров и услуг своими смартфонами, а предприниматели не досчитались выручки.

Аналогичные российские платежные сервисы MirPay и SberPay работают только на смартфонах с ОС Android и только с картами ПС МИР и, в следствие этого, имеют на текущий момент очень низкую долю рынка – около 11%.

Оплата через Систему Быстрых Платежей (СБП) должна была решить все проблемы, но этого не произошло, в основном из-за того, что в связи с особенностями технической реализацией этот способ неудобен для покупателей (оплата со сканированием QR-кода занимает очень много времени). По сути, данный способ в текущей реализации является значительным даунгрейдом привычной оплаты смартфоном в касание, но, тем не менее, все равно стремительно набирает обороты, т.к. это единственно возмож-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ный вариант оплаты, например, для владельцев iPhone [1,2].

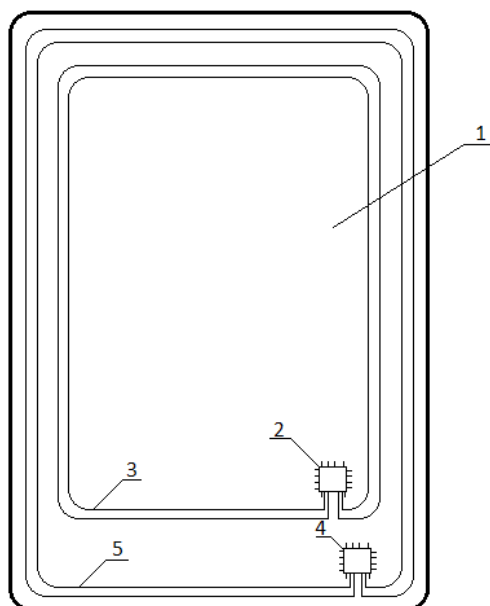


Рис. 1. Схема связи NFC-модулей/антенн

Платежные стикеры (банковские карты меньшего размера, наклеиваемые на смартфон), анонсированные и активно продвигаемые ведущими российскими банками в начале 2023 года, оказались практически неработоспособны на практике – смартфоны их сильно экранируют и банковские терминалы не могут считать с них необходимые данные.

Таким образом, популярность оплаты смартфонами в РФ вернулась к зачаточному состоянию и перспективы выхода на прежний уровень весьма сомнительны в силу отсутствия серьезных альтернатив Apple Pay и Google Pay.

Основная часть

Для решения возникшей в РФ проблемы оплаты в касание банковскими картами и смартфонами необходима разработка нового способа обмена платежной информацией между смартфонами и эквайринговыми терминалами. Все существующие на текущий момент в РФ модели эквайринговых терминалов не имеют такой воз-

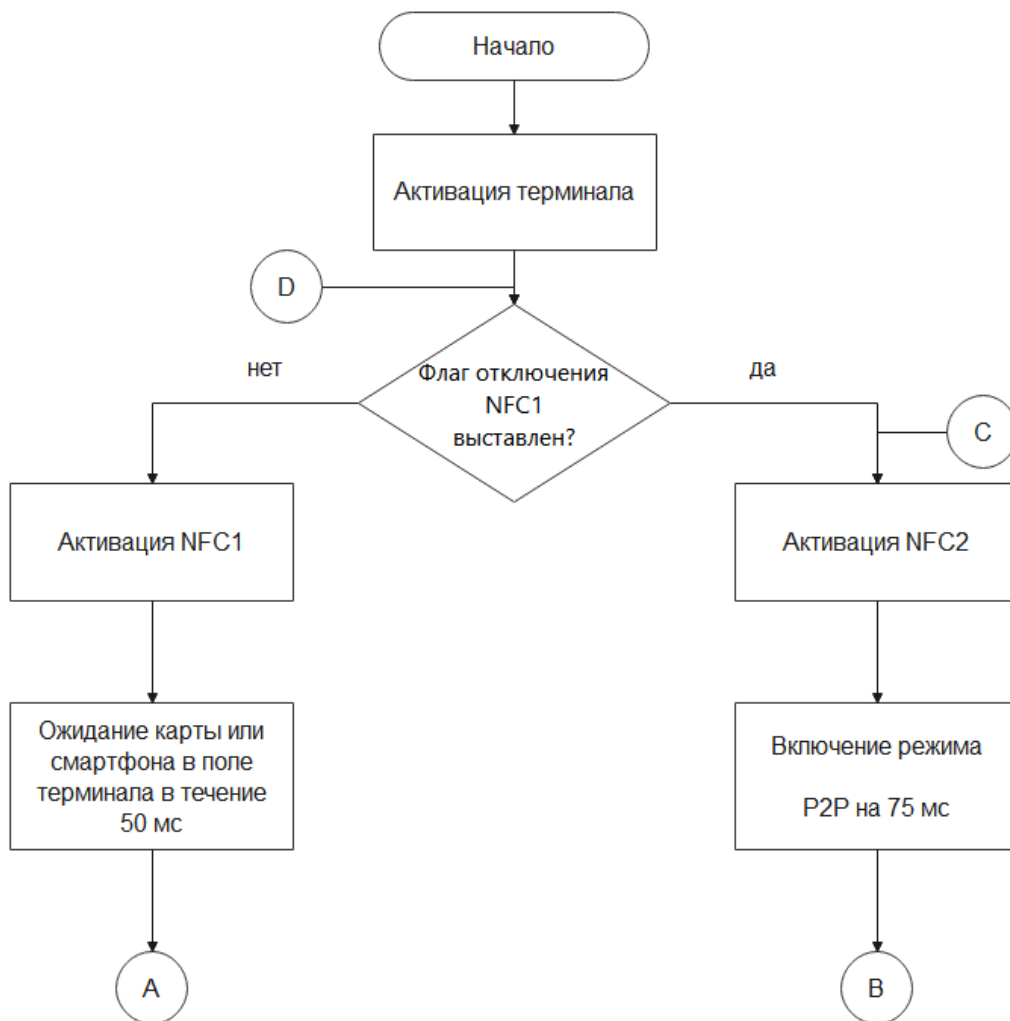


Рис. 2а

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

возможности в силу своих как аппаратных, так и программных ограничений [3,4].

Решить возникшую проблему позволяет разработанная технология Dual Pay, на основе которой будут создаваться эквайринговые терминалы нового поколения, которые смогут принимать оплату в касание (посредством различных технологий NFC) как банковскими картами, так и смартфонами (iOS и Android).

В составе банковского терминала, применяющего технологию Dual Pay, используется две независимые связки NFC-модуль/антенна и программное обеспечение (программная прошивка) синхронизирующая определенным образом их работу как единого целого и выполняющая детекцию доступных технологий оплаты. На *рисунке 1* показана схема связки NFC-модулей / антенн, где:

1 – печатная плата эквайрингового терминала;

2 – NFC-модуль №2, работающий в стандартах peer to peer (ISO18092), card emulation NFC-A (106 kbps) / NFC-F (212 и 424 kbps);

3 – антенна NFC-модуля №2;

4 – NFC-модуль №1, работающий в стандартах ISO14443-A/NFC-A, ISO14443-B/NFC-B;

5 – антенна NFC-модуля №1.

NFC-модуль/антенна №1 является классическим NFC-считывателем (EMVCo reader) (стандарты ISO14443-A/NFC-A, ISO14443-B/NFC-B) для обмена APDU-командами с банковскими картами и имеет сертификат EMVCo L1 Contactless. NFC-модуль/антенна №2 поддерживает следующие стандарты: peer to peer (ISO18092), card emulation NFC-A (106 kbps) / NFC-F (212 и 424 kbps), в результате чего имеет техническую возможность передачи любому современному смартфону платежной ссылки (например, динамической ссылки системы быстрых платежей) в формате NDEF. Допускает-

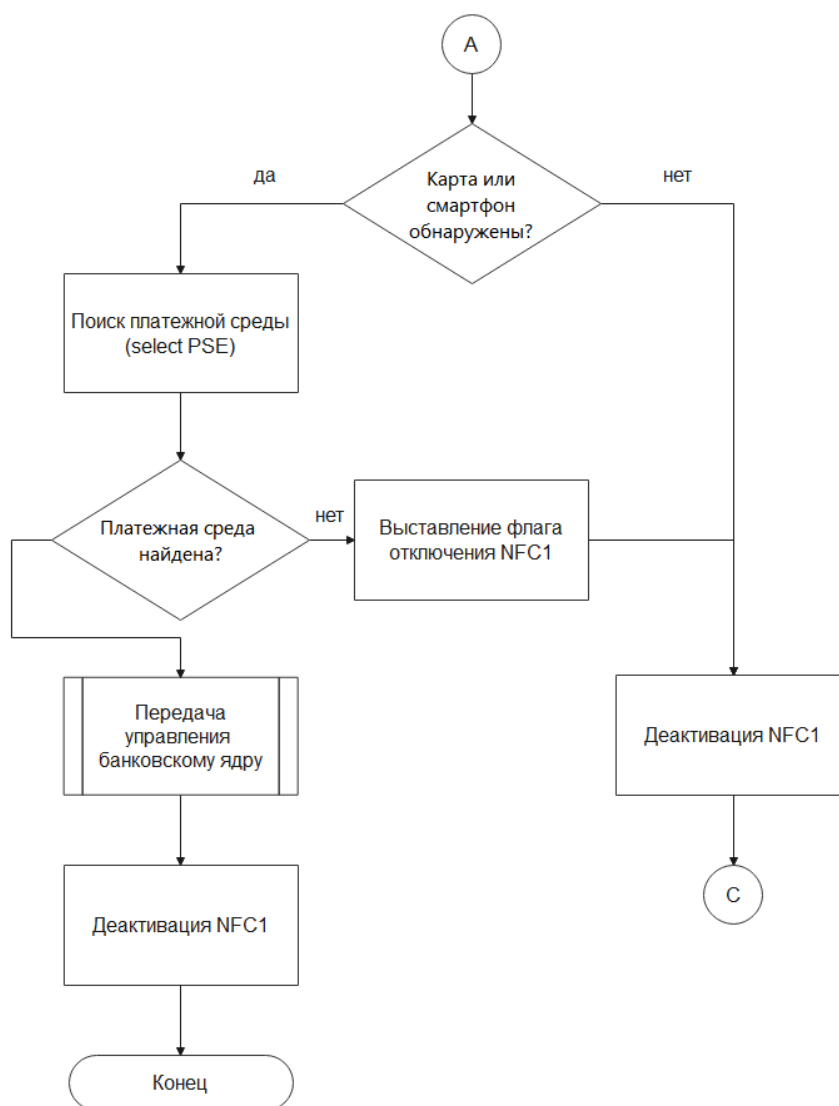


Рис. 26

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ся использование одного NFC-модуля и антенны, который поддерживает вышеуказанные технологии, но при этом потребуются провести EMVCo L1 Contactless сертификацию в европейских EMV-лабораториях, которую в данный момент из-за санкций пройти невозможно. Программная прошивка эквайрингового терминала помимо классических функций содержит алгоритмы синхронизации работы NFC-модулей, определения средства платежа поднесенного в поле действия терминала, определения доступных технологий оплаты, выбора технологии оплаты и проведения платежной транзакции. На *рисунках 2 а-в* показан алгоритм синхронизации работы NFC-модулей и поиск доступных технологий оплаты.

Таким образом, эквайринговый терминал, использующий технологию Dual Pay, в зависимости от того, что к нему приложил покупатель, работает следующим образом:

- физическая банковская карта (МИР, Visa, Mastercard) – чтение данных с помощью APDU-команд и формирование пакета для отправки банку-эквайеру (проведение транзакции с помощью классической схемы эквайер-МПС-эмитент);

- Android-смартфон с приложением MirPay/SberPay (или подобных) – чтение данных с помощью APDU-команд и формирование пакета для отправки банку-эквайеру (проведение транзакции с помощью классической схемы эквайер-МПС-эмитент);

- Android-смартфон без приложений MirPay/SberPay (или подобных) или iOS-смартфон – передача платежной ссылки (например, СБП) в формате NDEF посредством P2P-обмена (на iOS технология не доступна) или эмуляции работы NFC-метки (у покупателя открывается приложение банка на смартфоне и он подтверждает проведение транзакции);

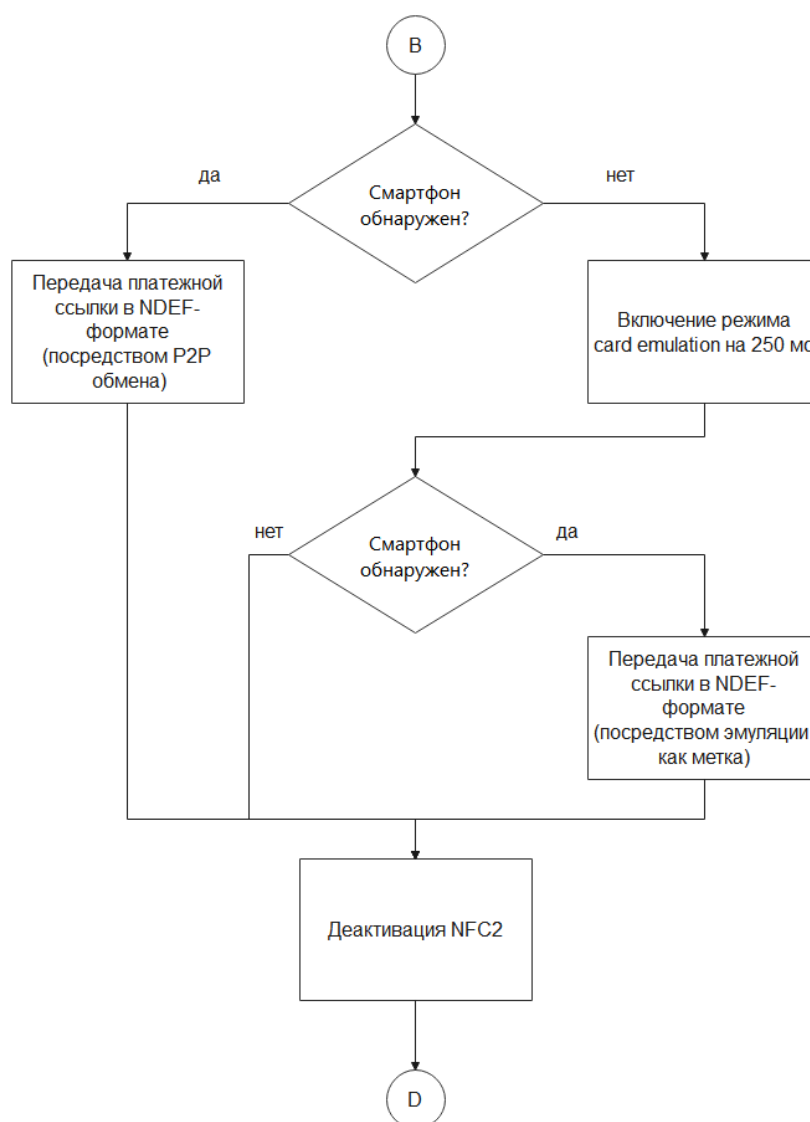


Рис. 2в

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

● Android или iOS-смартфоны с установленным и запущенным приложением СБПЭй - передача платежной ссылки СБП в формате NDEF путем эмуляции работы NFC-метки (у покупателя списываются денежные средства со счета, привязанного к приложению СБПЭй).

Заключение

Данная разработка относится к области банковских технологий оплаты товаров и услуг физическими лицами и может быть использовано для производства в России банковских (эквайринговых) терминалов оплаты нового поколения. Разработанная технология Dual Pay позволяет покупателю совершать оплату банковской картой или смартфоном (iOS, Android) прикладыванием их к эквайринговому терминалу (используются технологии NFC), без каких-либо установок дополнительных приложений и сканирования QR-кодов.

Для покупателя все выглядит максимально просто и привычно:

1) покупатель прикладывает банковскую карту или смартфон к эквайринговому терминалу с Dual Pay;

2) терминал определяет, что именно приложил покупатель и список формирует список доступных технологий для совершения оплаты;

3) посредством NFC начинается платежная транзакция: либо чтение данных банковской карты с помощью APDU-команд, либо передача в смартфон платежной ссылки СБП.

В банковском терминале с технологией Dual Pay оплатить можно следующими способами:

1) банковской картой (МИР, Visa, MasterCard);

2) смартфонами с платежными сервисами (MIRPay, SberPay, СБПЭй);

3) смартфонами без платежных сервисов (на iOS и Android).

В данный момент российская компания КИТ ИНВЕСТ (ООО) после успешного тестирования первых образцов запустила в серийное производство несколько тысяч банковских терминалов (KitPos Lite, KitPos Master) на основе технологии Dual Pay.

Литература

1. Кибербезопасность в условиях электронного банкинга: практическое пособие. Под ред. П.В. Ревенкова. М.: Прометей, 2020. 522 с.
2. <https://www.emvco.com/> (дата обращения 25 января 2023 года)
3. <https://www.nspk.ru/> (дата обращения 25 января 2023 года)
4. <https://azbukainterneta.ru/schoolbook/extended/module4/part5/> (дата обращения 25 января 2023 года)



ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 519.673

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДСИСТЕМЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF INTEGRATED OPTICAL ELEMENTS OF THE AUTHENTICATION SUBSYSTEM OF SWITCHING EQUIPMENT FIBER-OPTIC LINES

Михаил Павлович Сычёв

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
ФГБОУ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 105005, Москва,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1
Тел.: +7 (495) 632-22-47
E-mail: mpsichov@sm.bmstu.ru

Сергей Васильевич Усатиков

доктор физико-математических наук, профессор
профессор
Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко
Адрес: 350063, Краснодар, ул. Красина, д. 4
Тел.: 8 (952) 985-40-99
E-mail: sv@usatikov.com

Анатолий Викторович Мазин

доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО Калужский филиал
МГТУ имени Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: +7 (910) 915-58-25
E-mail: mazinav@yan.dex.ru

Ольга Александровна Кулиш

кандидат физико-математических наук, доцент
доцент
Краснодарское высшее военное училище
им. генерала армии С.М. Штеменко
Адрес: 350063, Краснодар, ул. Красина, д. 4
Тел.: 8 (961) 521-35-77
E-mail: culish_olga@mail.ru

Сергей Александрович Лоскутов

кандидат технических наук, доцент
доцент
ФГБОУ ВО Калужский филиал
МГТУ имени Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2

Аннотация

Рассматривается разработка методики оптимизации параметров интегрально-оптических элементов системы аутентификации коммутаторов. Показаны проблемы, возникающие при передаче данных через незащищенную сеть провайдера связи. Для аутентификации коммутаторов второго уровня можно использовать код аутентификации, переданный отправителем информации получателю с помощью модуля аутентификации, встроенного в коммутатор. При формировании кода аутентификации используется оптический импульс, энергия которого равна энергии фотона. Интегрально-оптическая технология изготовления позволяет значительно уменьшить размеры приемника и передатчика системы, но увеличить потери сигнала, что негативно скажется на эффективности системы аутентификации. Проведена многокритериальная оптимизация параметров интегрально-оптических устройств модуля аутентификации. Построено множество допустимых решений, проведена аппроксимация точек фронта Парето поверхностью. Методом идеальной точки выбрана оптимальная точка фронта Парето и получены параметры интегрально-оптических устройств.

Ключевые слова: оптическая связь, аутентификация, коммутаторы, эффективность, методы оптимизации, целевые функции, фактор-аргументы.

Summary

The development of a methodology for optimizing the parameters of integrated optical elements of the switch authentication system is considered. The problems that arise when transmitting data through an unsecured network of a communication provider are shown. To authenticate the second-level switches, you can use the authentication code transmitted by the sender of the information to the recipient using the authentication module built into the switch. When forming the authentication code, an optical pulse is used, the energy of which is equal to the energy of a photon. The integrated optical manufacturing technology makes it possible to significantly reduce the size of the receiver and transmitter of the system, but increase signal loss, which will negatively affect the effectiveness of the authentication system. Multi-criteria optimization of parameters of integrated optical devices of the authentication module was carried out. A set of acceptable solutions is constructed, the approximation of the points of the Pareto front by the surface is carried out. The optimal point of the Pareto front was selected by the ideal point method and the parameters of integrated optical devices were obtained.

Keywords: optical communication, authentication, switches, efficiency, optimization methods, objective functions, factor arguments.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Введение

При обмене данными между автоматизированными системами сигналы проходят через не защищенную от злоумышленников сеть провайдера связи и могут быть перехвачены любым абонентом, подключенным к этой сети. Существующие способы проверки коммутационного оборудования, такие как, проверка IP адреса, MAC – адреса оборудования на подлинность в сетях связи могут быть скомпрометированы [1].

Таким образом, при использовании незащищенной сети связи существует угроза перехвата и последующего анализа передаваемых данных.

Проблема аутентификации коммутационного оборудования на втором уровне модели OSI может быть решена с помощью встраивания в коммутатор модуля аутентификации. Модуль аутентификации позволит сформировать код аутентификации у отправителя и получателя данных при передаче случайной двоичной последовательности.

Код аутентификации формируется у легитимных пользователей с помощью протокола BB84 [2], для которого используются ослабленные аттенюатором оптические импульсы с энергией, равной энергии одного фотона. Модуль аутентификации отправителя состоит из импульсного лазера, аттенюатора, оптического интерферометра с линией задержки в одном плече и фазового модулятора в другом, модуль аутентификации получателя состоит из идентичного интерферометра, поляризационного расщепителя и двух детекторов излучения [3].

Для уменьшения размеров модулей аутентификации с целью встраивания их в стандартное коммутационное оборудование необходимо применение интегрально-оптических интерферометров и поляризационных расщепителей [4]. Так как применение устройств в интегрально-оптическом исполнении может увеличить потери данных в системе аутентификации, то необходимо подобрать такие параметры интегрально-оптических устройств, которые позволят минимизировать размеры модуля, при этом обеспечивая необходимый уровень достоверности передачи данных.

Постановка задачи

Для невозможности перехвата данных злоумышленником в системе аутентификации код аутентификации передается с помощью оптических импульсов с энергией, равной энергии одного фотона. При разработке подсистемы аутентификации необходимо определение параметров интегрально-оптических устройств, позволяющих передавать данные с высокой достоверностью.

Эффективность системы аутентификации была представлена в виде:

$$\vec{F} = \{V, \mathcal{L}, S\}, \quad (1)$$

где V – видность;

$\mathcal{L}$ – геометрический размер модуля аутентификации;

S – своевременность.

В качестве целевых функций рассматривались:

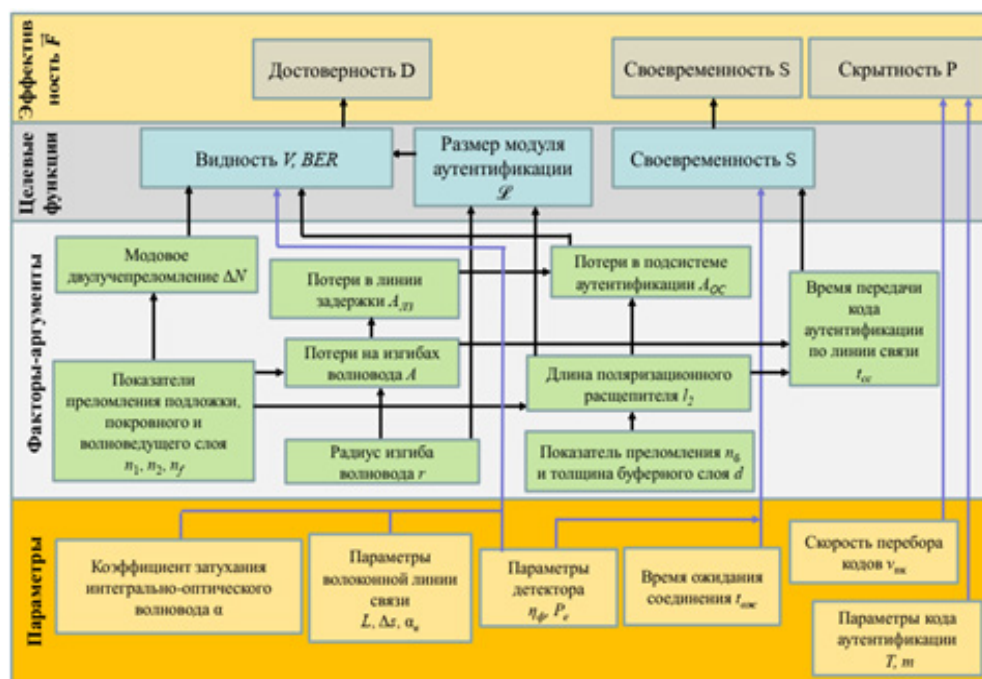


Рис. 1. Формализация постановки научной проблемы

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

$$V(r, n_f, n_p, n_2, n_6, d) \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$\mathcal{L}(r, n_f, n_p, n_2, n_6, d) \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$S(r, n_f, n_p, n_2, n_6, d) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где n_1, n_2 – показатели преломления подложки и покровного слоя интегрально-оптических волноводов;

n_f – показатель преломления волноведущего слоя;

n_6 – показатель преломления буферного слоя поляризационного расщепителя;

d – толщина буферного слоя;

r – радиус изгиба волновода.

Допустимое множество имеет вид:

$$\tilde{D} = \{40\% \leq V \leq 100\%, 0,12\text{м} \leq \mathcal{L} \leq 0,5\text{м}, 0,13\text{с} \leq S \leq 6\text{с}, 0,0063\text{м} \leq r \leq 0,0139\text{м}, 1,51 \leq n_f \leq 3,44, 1,5 \leq n_1 \leq 3,35, (5) 1 \leq n_2 \leq 1,5, 1,457 \leq n_6 \leq 1,51, 0,5\text{мкм} \leq d \leq 1,5\text{мкм}\}.$$

Формализация постановки научной проблемы представлена на рисунке 1. На рисунке показана связь параметров интегрально-оптических устройств с фактор-аргументами целевых функций, в свою очередь, целевые функции входят в достоверность, своевременность и скрытность, которые составляют эффективность передачи данных в системе аутентификации.

Формальная постановка научной проблемы была детализирована с помощью уравнений связи, приведенных на рисунке 1. Уравнения связи, приведенные на рисунке 2, показывают, как с помощью параметров волноводов интегрально-оптических устройств можно изменить значения целевых функций с целью повышения эффективности системы аутентификации.

Методы исследования

Методы решения задачи многокритериальной оптимизации чрезвычайно разнообразны. Существует несколько способов классификации этих методов, например, классификация, основанная на содержании и форме использования дополнительной информации о предпочтениях лица, принимающего решения (ЛПР) [5]. В соответствии с этой классификацией выделяются следующие классы методов решения задачи многокритериальной оптимизации: методы, основанные на предварительном построении аппроксимации множества Парето; априорные методы; апостериорные методы; адаптивные методы. Для пользователя наиболее удобны методы, основанные на непосредственном использовании множества Парето (а, тем самым, и фронта Парето). В этом случае ЛПР выбирает компромиссное решение на фронте Парето не формальными методами, исходя только из своих предпочтений.

Часто возникают ситуации, когда необходимо оптимизировать не одну функцию, а сразу множество функций. Каждая из таких оптимизируемых функций называется критерием. Иногда можно найти решение, которое оптимально по всем критериям. Однако гораздо чаще возникает обратная ситуация, когда критерии не согласуются друг с другом. В таких случаях решением является компромисс по различным критериям. В системе аутентификации при применении интегрально-оптических устройств с целью уменьшения размеров модулей, потери сигнала будут

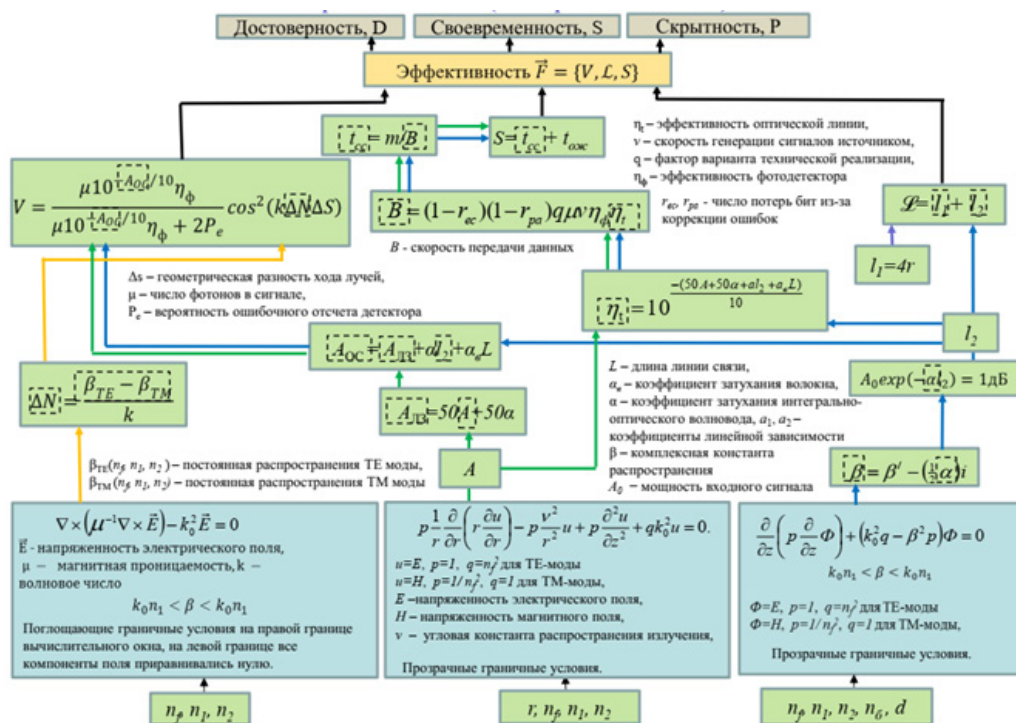


Рис. 2. Уравнения связи

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

возрастать и, следовательно, видность и своевременность уменьшаются. Однако с помощью многокритериальной оптимизации можно рассмотреть наилучшие возможные варианты. Существует множество способов определить набор «наилучших вариантов», но наиболее известным является множество Парето в пространстве возможных решений [6].

Предположим, что рассматриваются два интегрально-оптических волновода M и N . Говорят, что M доминирует N по Парето, если M не хуже N по всем критериям и хотя бы по одному критерию превосходит N . Если так оно и есть на самом деле, то, действительно, в выборе N нет никакого смысла. Ведь M по всем параметрам не уступает, а по каким-то и выигрывает N . Если рассматривать всего два критерия H_1 и H_2 , то на рисунке 3 показана область пространства, доминируемая данным решением A . Эта область «замкнута»: элементы на ее границе также доминируемы A [7].

С другой стороны, ни M , ни N не доминируют друг друга, если они равны по всем критериям, либо если N лучше в чем-то одном, а M – в другом. В таких случаях оба решения M и N представляют интерес для ЛПР. Такие варианты называются недоминируемыми. Этот набор решений представляет фронт Парето (границу Парето) в пространстве решений.

Пусть X обозначает множество допустимых решений в некоторой задаче, $x \in X$ – допустимое решение. Предположим, что каждое решение $x \in X$ – допустимое решение. Предположим, что каждое решение $x \in X$ оценивается по n критериям $n \geq 2$. Тогда множество парето-оптимальных оценок совпадает с частью «северо-восточной» границы множества $H(X)$ (кривые BC и EF пред-

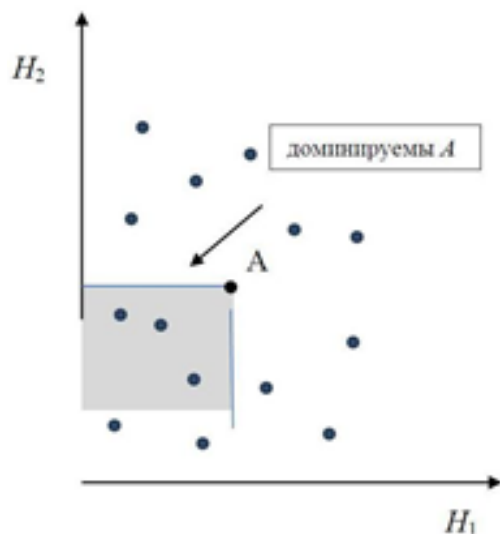


Рис. 3. Область решений, доминируемых по Парето решением A , включая решение на границе

ставляют собой эффективную границу множества возможных оценок $H(X)$ [8]. На рисунке 4 показаны множество возможных оценок (область $OABCDEF$) и граница Парето для возможных решений в двухкритериальном пространстве.

В двумерном случае фронт Парето представляет собой кривую, определяющую нечто вроде внешней границы. В трехмерном случае – это будет что-то, напоминающее оболочку. При оптимизации параметров интегрально-оптических устройств был рассмотрен трехмерный случай с тремя критериями V , $\mathcal{L}$, S , значения которых были нормированы и изменялись от нуля до единицы.

Как показано на рисунке 4, граница Парето может иметь разный вид. Выпуклые границы искривлены в сторону лучших решений, а вогнутые – в обратную сторону. Границы также могут быть не непрерывными, что означает наличие областей вдоль фронта, в которых просто не может быть решений: они будут доминироваться другими решениями в «правильных» участках границы. Также существуют и локально-оптимальные по Парето фронты в пространстве, когда для определенной точки, не принадлежащей глобальной границе Парето, известно, что она доминирует все точки в некоторой окрестности [9].

Для выбора оптимальной точки из фронта Парето может быть использован метод «идеальной» точки, который состоит в отыскании среди паретовских решений ближайшего к точке утопии, задаваемой ЛПР. Формулируется цель в виде желаемых значений показателей, и зачастую выбираются наилучшие значения всех критериев (эта точка обычно не реализуется на практике, поэтому ее называют точкой утопии). При оптимизации параметров элементов системы аутентификации в качестве идеальной точки была выбрана точка, имеющая значения критериев $V=1$, $\mathcal{L}=0$, $S=0$. Лучшим считается решение x , обращающее в минимум сумму квадратов отклонений значений всех критериев от их наилучших значений [10]:

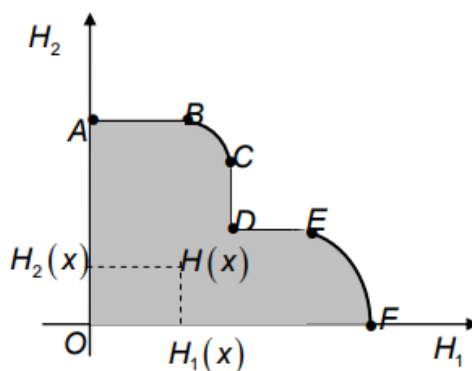


Рис. 4. Граница Парето для недоминируемых решений

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

$$\rho(\mathcal{L}, S, V) = \sqrt{\mathcal{L}^2 + S^2 + (V - 1)^2} \quad (6)$$

Результаты

В результате выполнения оптимизации было построено множество допустимых решений в трехкритериальном пространстве (рисунк 5). На рисунке приведена идеальная точка и точка, соответствующая волоконно-оптическому исполнению модуля аутентификации.

Далее были выбраны точки фронта Парето, проведена аппроксимация этих точек поверхностью. На рисунке 6 показан фронт Парето и приведена аппроксимирующая функция.

Из точек фронта Парето в качестве оптимальной была выбрана точка, имеющая минимальное значение $\rho(\mathcal{L}, S, V) = 0,91$. Этой точке соответствуют следующие параметры интегрально-оптических устройств: $n_f = 2,282$, $n_l = 2,35$, $n_2 = 1,242$, $n_b = 1,503$, $r = 0,0079$, $d = 0,9$ мкм. Значения критериев оптимальной точки: $\mathcal{L} = 0,53$, $S = 0,73$, $V = 0,876$.

Выводы

Таким образом, проведена многокритериальная оптимизация параметров интегрально-оптических устройств модуля аутентификации. Построено множество допустимых решений в трехкритериальном пространстве. Проведена аппроксимация точек фронта Парето поверхностью и выбрана оптимальная точка фронта Парето, имеющая минимальную сумму квадратов отклонений значений всех критериев от значений идеальной точки. Получены параметры интегрально-оптических устройств, соответствующие критериям оптимальной точки.

Литература

1. Давыдов А.Е., Максимов Р.В., Савицкий О.К. Защита и безопасность ведомственных инте-

грированных инфокоммуникационных систем. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 192 с.

2. Румянцев К.Е., Хайров И.Е. Эффективность волоконно-оптической системы передачи информации // Информационное противодействие угрозам терроризма, 2004. №2. С.50-52.

3. Патент на изобретение № 2755593 Российская федерация, МПК H04L 9/08. Способ аутентификации коммутаторов на основе кодирования сигналов в нескольких базисах. Кулиш О.А., Королев И.Д., Комиссарова Т.П., заявка № 2020127136; заявлено 12.08.2020, опубликовано 17.09.2021.

4. Никоноров Н.В., Шандаров С.М. Волноводная фотоника. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 143 с.

5. Лотов А.В., Пospelова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. 197 с.

6. Денисенко Т.И. Проблемы многокритериальной оптимизации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2010. №12. С.129-130.

7. Петровский А.Б. Теория принятия решений: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 400 с.

8. Подиновский В.В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Наука, 2019. 103 с.

9. Юкаева, В.С., Зубарева Е.В., Чувинова В.В. Принятие управленческих решений: учебник для бакалавров и др. М.: Дашков и К, 2012. 322 с.

10. Гельруд, Я.Д., Шиндина Т.А. Методы принятия управленческих решений [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие. Электрон. текст. дан. (1,04 Мб). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013.

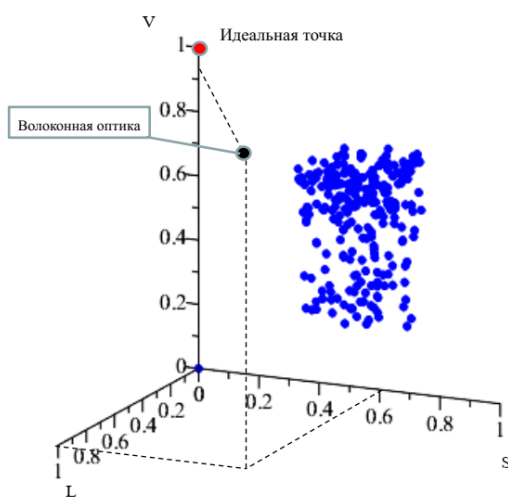


Рис. 5. Множество допустимых решений

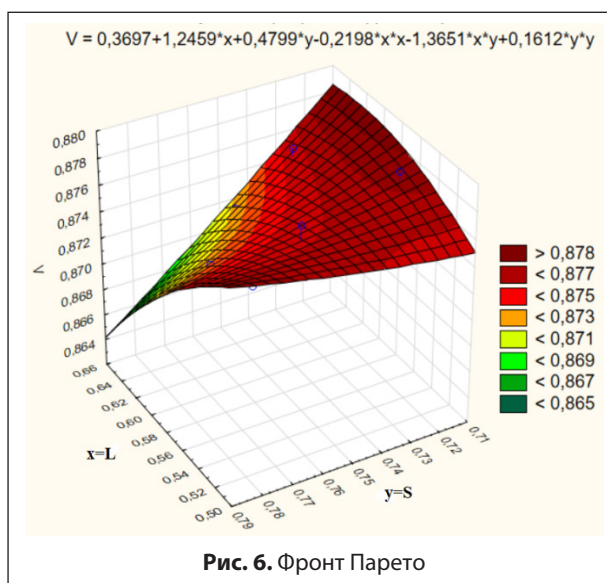


Рис. 6. Фронт Парето

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

543.42:665.753.4

ПРИМЕНЕНИЕ УФ-СПЕКТРОФОТОМЕТРА ДЛЯ ЭКСПРЕССНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ В РЕЖИМЕ «НА МЕСТЕ»

APPLICATION OF UV SPECTROPHOTOMETER FOR EXPRESS DETERMINATION OF THE OPERATIONAL PROPERTIES OF DIESEL FUELS IN THE «ON-SITE» MODE

Дарья Александровна Порядина

кандидат химических наук

преподаватель кафедры

«Материаловедения и ремонта вооружения»

филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)

Адрес: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17

Тел.: +7 (977) 261-83-65

E-mail: sibilda1@yandex.ru

Татьяна Анатольевна Кучменко

доктор химических наук, профессор

заведующая кафедрой

«Физической и аналитической химии»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный

университет инженерных технологий» (ВГУИТ)

Адрес: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

Тел.: +7 (920) 422-77-25

E-mail: tak1907@yandex.ru

Иван Сергеевич Бузакин

курсант 4 курса факультета №1

«Стартовых и технических комплексов»

филиал ВА РВСН им. Петра Великого

(г. Серпухов)

Дмитрий Владимирович Коноваленко

курсант 1 курса факультета №1

«Стартовых и технических комплексов»

филиал ВА РВСН им. Петра Великого

(г. Серпухов)

Илья Сергеевич Боев

курсант 1 курса факультета №1

«Стартовых и технических комплексов»

филиал ВА РВСН им. Петра Великого

(г. Серпухов)

Аннотация

В статье показана возможность применения фотометрического метода и прибора спектрофотометр для экспрессного определения эксплуатационных свойств дизельных топлив – концентрация фактических смол, температура вспышки в открытом тигле.

Ключевые слова: эксплуатационные свойства, дизельное топливо, фактические смолы, температура вспышки, анализ «на месте», фотометрический метод, спектрофотометр.

Summary

The article shows the possibility of using a photometric method and a spectrophotometer device for express determination of the operational properties of diesel fuels – the concentration of actual resins, flash point in an open crucible.

Keywords: operational properties, diesel fuel, actual resins, flash point, on-site analysis, photometric method, spectrophotometer.

Введение

В настоящее время проводят три вида анализа топливной продукции.

Полный анализ по 20-ти органолептическим и физико-химическим показателям осуществляется только в аккредитованных лабораториях при составлении паспорта качества [1,2].

Контрольный анализ проводят в течение срока хранения топлива для установления динамики изменения эксплуатационных свойств по 3-м физико-химическим показателям.

При поступлении топлива на АЗС, в Вооруженных силах РФ в полевых условиях проводят приемо-сдаточный анализ по одному инструменталь-

ному показателю «плотность». Показатель «плотность» служит для определения эксплуатационного свойства «горючесть» и «склонность к образованию отложений» дизельных топлив и бензинов.

Согласно ГОСТ контролируется только верхняя граница значений этого показателя [2]. В большинстве случаев показатель «плотность» соответствует требованиям стандарта, что ограничивает его информативность, например, не позволяет определить фальсификацию. Разработка способов экспрессного определения показателей качества дизельных топлив во вне-лабораторных условиях, в том числе в полевых условиях, является актуальным.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Известно применение метода спектрофотометрии, основанном на поглощении квантов света при прохождении его через слой вещества [3]. Закон Бугера-Ламберта-Бера связывает уменьшение интенсивности света, прошедшего через слой светопоглощающего вещества, с концентрацией вещества и толщиной слоя. Уменьшение интенсивности света, прошедшего через раствор, характеризуется коэффициентом светопропускания. Взятый с обратным знаком десятичный логарифм величины коэффициента светопропускания называется оптической плотностью.

Низкий предел обнаружения, избирательность, простота методики анализа, высокая точность, применение малого объема пробы – до 10 мл, низкое время получения отклика – до 2 минут, отсутствие приемов подготовки пробы, применение фотометрических методов для контроля производства, определения примесей и решения многих важных вопросов в лабораториях позволяют разработать способы оценки состояния сложных систем нефтепродуктов.

Цель исследования – разработать способ экспрессного определения эксплуатационных свойств дизельного топлива с применением спектрофотометра в режиме «на месте», значительно снижающий время и себестоимость анализа по сравнению с существующими решениями.

Материал и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны 8 образцов продукта «Топливо дизельное» марки Л-0,2-62 ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное. Технические условия» разных производителей и дат розлива, предоставленных в автопарке ФВА РВСН им. Петра Великого (таблица 1).

Для всех проб измерены стандартные показатели: цетановое число; плотность при 20°C; кинематическая вязкость при 20°C; температура перегонки 50 и 96% топлива; содержание фактических смол, мг на 100 см³ топлива; кислотность, мг КОН на 100 мл топлива; содержание водорастворимых кислот и щелочей; температура вспышки в закрытом тигле, °C; температура помутнения, °C; температура застывания, °C; содержание механических примесей и воды; испытание на медной пластине на соответствие требованиям ГОСТ 305-82 [2].

Спектрофотометрическое исследование исследуемых проб проводили на спектрофотометре УФ-1200 (Shanghai Mapada Instruments Co., Ltd., Китай), предназначенном для измерения коэффициента пропускания, оптической плотности и концентрации жидких проб различного назначения (рисунок 1).

Спектрофотометр УФ-1200 представляет собой стационарный настольный лабораторный прибор, состоящий из оптико-механического и электронного узлов, установленных в корпусе.

Таблица 1

Характеристика объектов исследования

Наименование	Наименование продукта	Изготовитель
Образец 1	Топливо дизельное ДТ Л-0,2-62	Омский НПЗ
Образец 2		Рязанский НПЗ
Образец 3		Омский НПЗ*
Образец 4		Омский НПЗ*
Образец 5		Волгограднефтепереработка
Образец 6		Омский НПЗ*
Образец 7		Орскнефтеоргсинтез
Образец 8		Омский НПЗ*

* – образцы предоставлены одинаковым производителем, дата отбора проб различная



Рис. 1. Спектрофотометр УФ-1200

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Спектрофотометр УФ-1200 построен по одно-лучевой схеме. Спектрофотометр состоит из следующих основных частей (рисунк 2): галогенная лампа как источник света; монохроматор для выделения спектрального диапазона требуемых длин волн; кюветное отделение, служащее для размещения проб и калибровочных растворов; детектор для регистрации света и преобразования его в электрический сигнал; электроника, обеспечивающая проведение измерений и управление работой прибора; цифровой индикатор для отображения результатов измерений и вспомогательной информации.

Принцип действия фотометра основан на сравнении светового потока Φ_0 , прошедшего через растворитель или контрольный раствор, по отношению к которому производится измерение, и светового потока Φ , прошедшего через

исследуемую среду. Световые потоки Φ_0 и Φ преобразуются фотоприемником в электрические сигналы U_0 , U . Также измеряется U_t – сигнал от неосвещенного приемника. По величинам этих сигналов микропроцессором спектрофотометра рассчитывается и отображается на дисплее результат измерения в виде коэффициента пропускания, оптической плотности или концентрации в зависимости от выбранного режима измерения.

Аналитической информацией спектрофотометра является оптическая плотность A , по величине которой определяют высоту пика поглощения h , длина волны λ , нм, при которой зафиксирован пик поглощения.

Полученные результаты и их обсуждение

Предварительно определяли стандартные показатели качества для проб дизельного топлива Л-0,2-62, связанные с содержанием компонентов нефтяных фракций и других нелетучих соединений (таблица 2).

Установлено, что образцы №1, №3-6 соответствуют требованиям по всем контролируемым показателям [2].

В образцах №2 и №8 цетановое число ниже регламентированного значения, они характеризуются недостаточным самовоспламенением, из-за присутствия бензиновой фракции.

В образце №7 плотность выше регламентированного значения, концентрация фактических смол существенно занижена среди выборки.

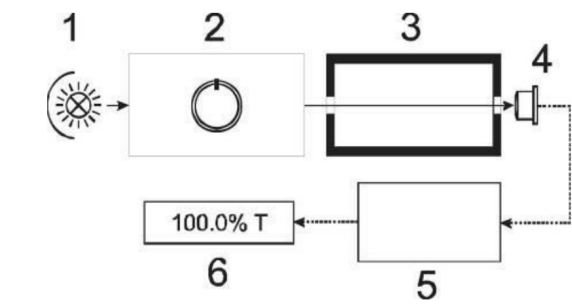


Рис. 2. Функциональная схема спектрофотометра:
1 – источник света; 2 – монохроматор; 3 – кюветное отделение; 4 – детектор; 5 – электронная схема; 6 – индикатор

Таблица 2

Результаты анализа образцов дизельного топлива на соответствие требованиям ГОСТ 305-82

№ п/п	Наименование показателей	Требование ГОСТ 305-82	Номера проб (согласно таблице 1)							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Цетановое число	Не менее 45	48	41,9	50,1	48	50,1	47	50	41,2
2	Плотность при 20 °С, г/см³	Не более 0,860	0,843	0,837	0,846	0,843	0,845	0,848	0,863	0,827
3	Фракционный состав									
	Тп 50 %, °С	Не выше 280	279	258	274	279	273	278	275	262
	Тп 96 %, °С	Не выше 360	359	355	345	359	353	350	358	368
4	Вязкость кинематическая при 20 °С	3,0-6,0	4,90	4,46	4,77	5,0	4,69	5,02	4,94	3,65
5	Содержание фактических смол, мг на 100 см³ топлива	Не более 40	10,2	11,0	4,5	10,0	7	14,0	8	13
6	Кислотность, мг КОН на 100 мл топлива	Не более 5	0,46	0,89	2,65	0,51	1,28	1,3	0,09	2,49
7	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	Не ниже 40	79	72	65	79	65	72	69	63
8	Температура помутнения, °С	Не выше -5	-7	-5	-9	-5	-5	-9	-7	-8
9	Температура застывания, °С	Не выше -10	-15	-10	-15	-12	-15	-17	-16	-15
10	Испытание на медной пластинке	Выдерживает	Выдерживает							
11	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие	Отсутствие							
12	Содержание механических примесей и воды	Отсутствие	Отсутствие							

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В образце №8 цетановое число ниже заявленного, кинематическая вязкость и температура вспышки занижены среди выборки, кислотность и содержание фактических смол несколько выше средней по выборке. Этот образец можно охарактеризовать, как образец длительного хранения, его рекомендуется расходовать в первую

очередь, так как в нем возможно образование низкотемпературных отложений [1].

Образец №2 характеризуется цетановым числом ниже нормативного значения согласно ГОСТ, а температура перегонки на 50% ниже средней по выборке. Предположительно в образец добавлена керосиновая фракция. Данное

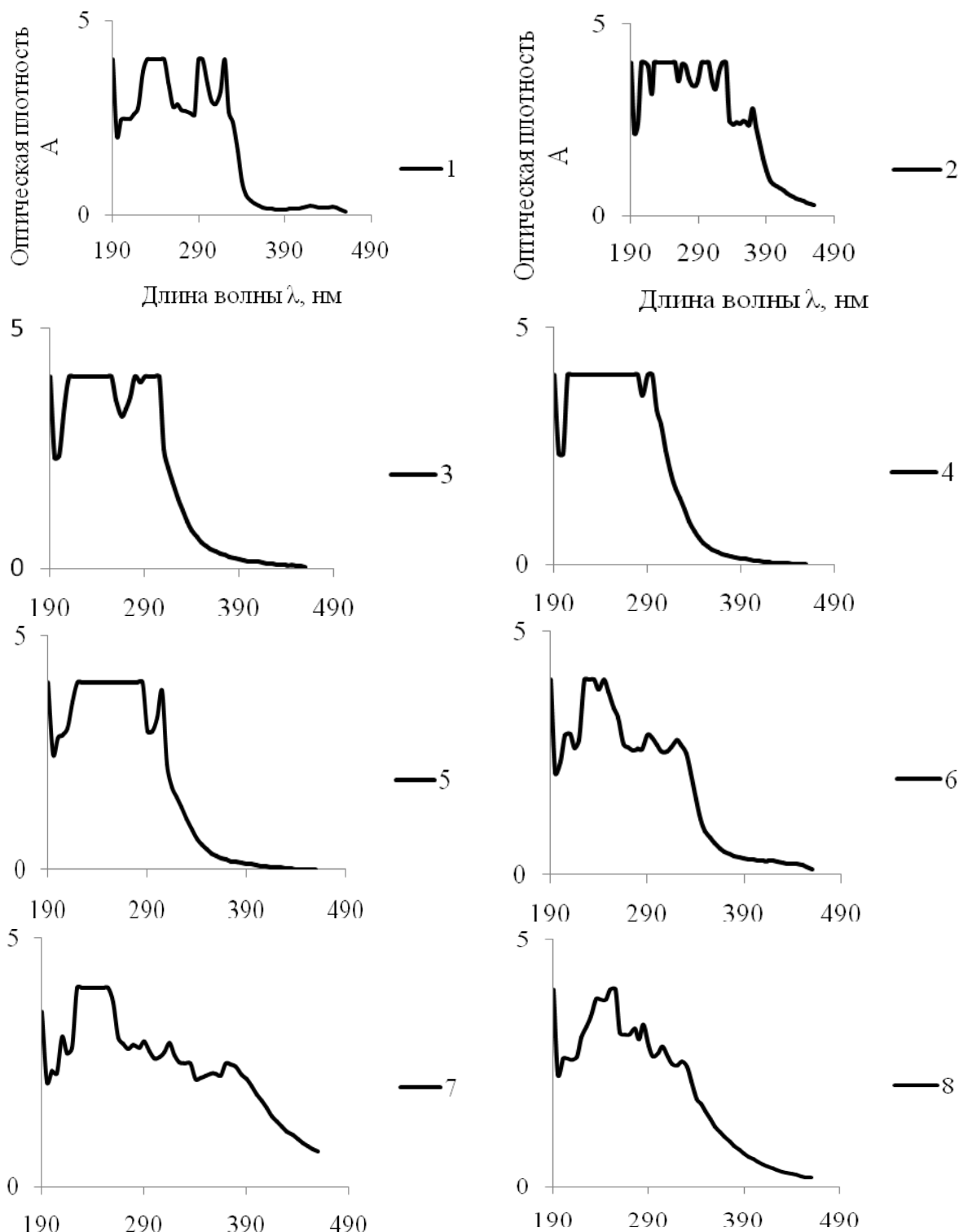


Рис. 3. Спектры поглощения образцов дизельного топлива

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

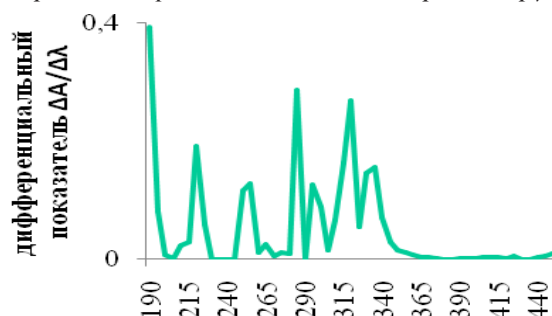
топливо рекомендуется эксплуатировать при более низких температурах окружающей среды.

В образце №6 концентрация фактических смол существенно завышена среди выборки.

Для образца №3 характерно минимальное содержание фактических смол среди других

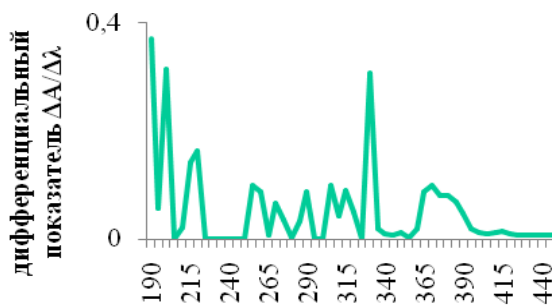
проб из рассматриваемой выборки, кислотность пробы завышена. Этот образец является топливом длительного хранения.

В идентичных условия получены спектры поглощения образцов дизельного топлива на спектрофотометре УФ-1200, в диапазоне длин волн



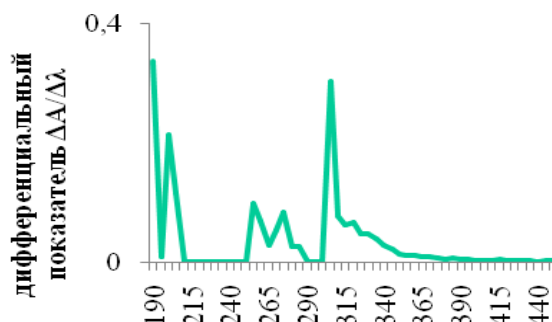
Длина волны λ , мм

Образец 1



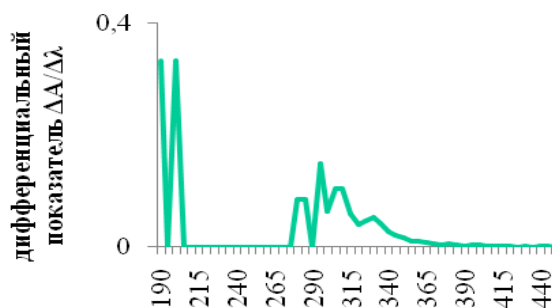
Длина волны λ , мм

Образец 2



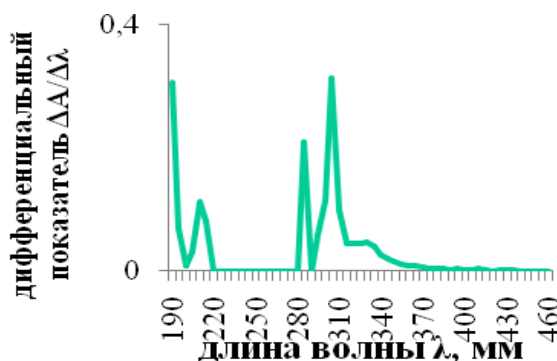
Длина волны λ , мм

Образец 3



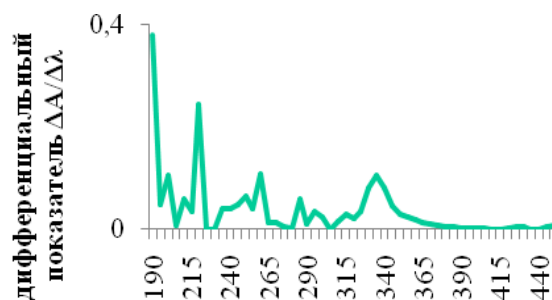
Длина волны λ , мм

Образец 4



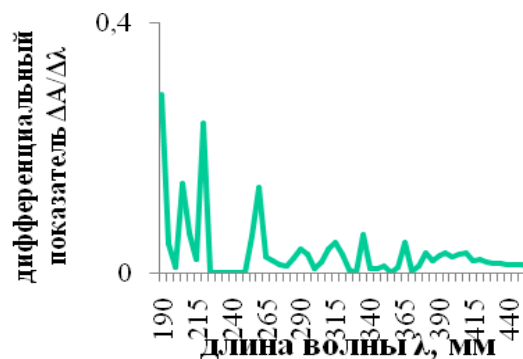
Длина волны λ , мм

Образец 5



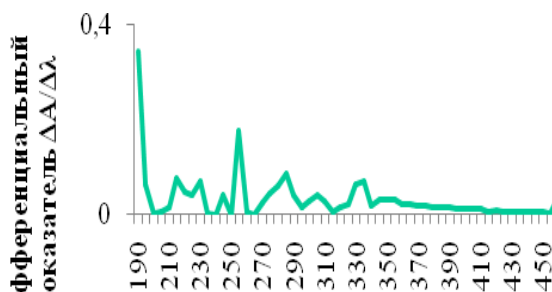
Длина волны λ , мм

Образец 6



Длина волны λ , мм

Образец 7



Длина волны λ , мм

Образец 8

Рис. 4. Дифференциальные спектры поглощения образцов дизельного топлива

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

190-1200 нм, с шагом 5 нм. Аналитически значимыми являются дифференциальные спектры поглощения в диапазоне длин волн 190-490 нм (рисунк 3).

По форме интегрального спектра поглощения установить, что все образцы представляют собой смесь различных классов органических соединений близких по строению. Геометрия интегральных спектров поглощения позволяет распределить исследуемые образцы на 3 группы. В 1 группу входят образцы 1 и 2, для них установлен близкий состав веществ при поглощении в области 190-350 нм. Ко 2 группе относятся образцы 3, 4, 5, для них установлено наличие неразделенных пиков поглощения при 200-300 нм, что свидетельствует о близком углеводородном составе. К 3 группе относятся образцы

6, 7, 8, для них характерно наличие смеси предельных органических соединений с большой молекулярной массой в диапазоне поглощения 390-490 нм. Для этих образцов установлено максимальное значение среди выборки показателя «концентрация фактических смол». Установлены различия в геометрии спектров для образцов дизельного топлива №1-№8, связанные с различиями в химическом составе исследуемых проб (срок хранения, месторождение нефти) [4].

Применение интегральных спектров поглощения (рисунк 3) не позволяет оценить показатели качества образцов дизельного топлива.

Для расширения аналитической информации о пробе строили дифференциальные спектры поглощения образцов дизельного топлива (рисунк 4) в координатах $\Delta A/\Delta \lambda - \lambda$, где $\Delta A/\Delta \lambda$ – от-

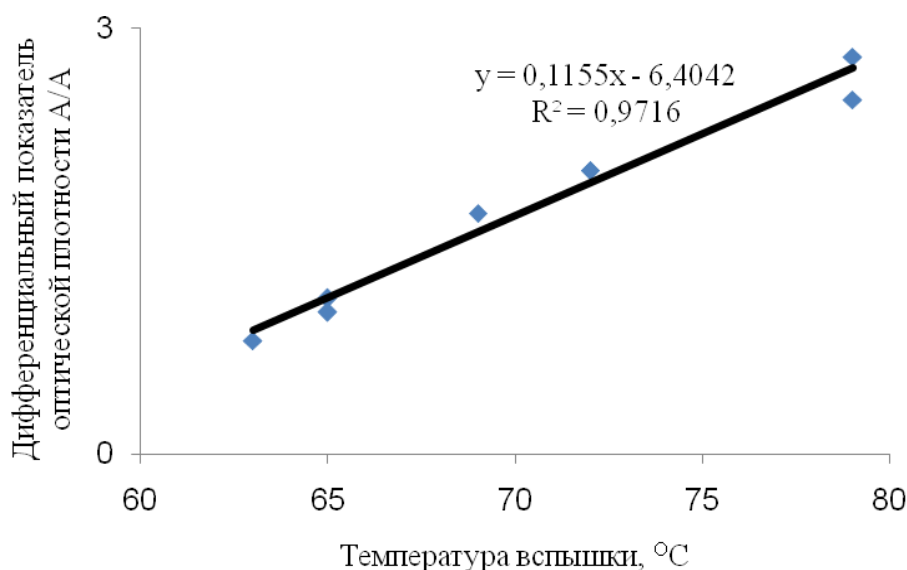


Рис. 5. График зависимости дифференциального показателя оптической плотности от концен

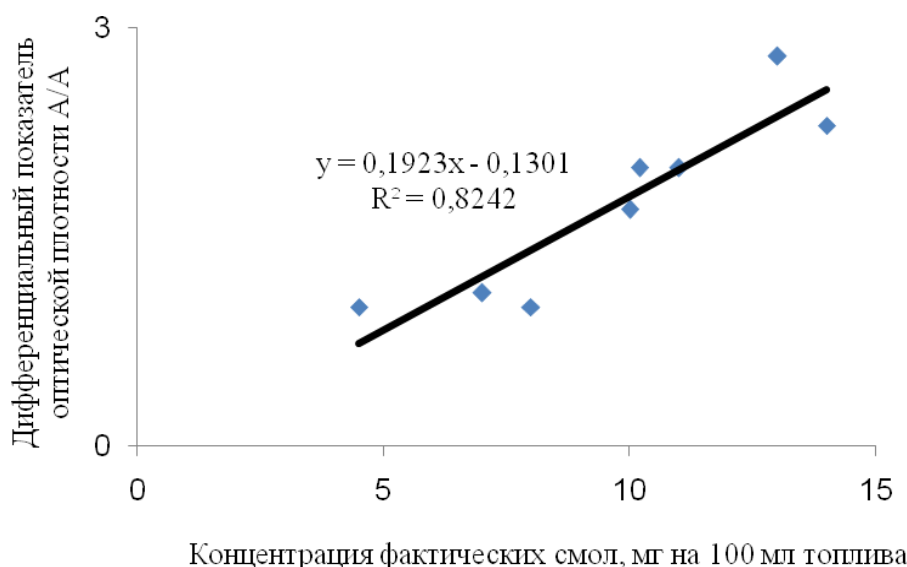


Рис. 6. График зависимости дифференциального показателя оптической плотности от температуры вспышки

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ношение изменения оптической плотности при изменении длины волны на 5 нм.

Интегральные спектры поглощения позволяют распределить образцы на 3 группы по общности химического состава. К 1 группе относят образцы 1 и 2, ко 2 – образцы 3, 4, 5; к 3 группе – образцы 6, 7, 8. Однако, для определения показателей качества не применимы.

Был применен третий способ обработки аналитической информации – расчет соотношений оптической плотности A на разных длинах волн i, j (нм) – A_i/A_j . Для каждого образца рассчитано 20 соотношений и построены зависимости каждого нового параметра и показателями качества ГОСТ 305-82. Установлена устойчивая корреляция параметра A_i/A_j и стандартного показателя качества – концентрация фактических смол (*рисунк 5*). Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2=0,82>0,75$, получено уравнение для определения показателя «концентрация фактических смол» по результатам спектрофотометрического исследования.

Установлена устойчивая корреляция параметра A_i/A_j и стандартного показателя качества – температура вспышки (*рисунк 6*). Коэффициент достоверности аппроксимации $R^2=0,97>0,75$. Высокий коэффициент достоверности аппроксимации подтверждает возможность полученного уравнения для определения показателя «температура вспышки» по результатам спектрофотометрического исследования.

Выводы

Разработан способ экспрессного определения эксплуатационных свойств дизельного топлива с применением спектрофотометра в режиме «на месте». За одно измерение на 1 приборе без предварительной подготовки пробы возможно в режиме «на месте» определить 2 показателя ГОСТ «концентрация фактических смол», «температура вспышки», при значительном снижении времени анализа в 30 раз, объема пробы в 10 раз. Не требуется принудительное нагревание образца до температуры кипения и полного испарения, что снижает экологическую нагрузку на оператора.

Литература

1. Сафонов Л.С., Ушаков А.И. Автомобильные топлива: Химмотология. Эксплуатационные свойства. СПб.: НПИКЦ, 2002. 264 с.
2. ГОСТ 305-82 Топливо дизельное. Технические условия М.: Стандартиформ, 2003. 14 с.
3. Васильев В.П. Аналитическая химия. В 2 кн. Кн. 2. Физико-химические методы анализа: учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец. 6-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2007. 383 с.
- Черепица С.В., Бычков С.М., Коваленко А.Н., Мазаник А.А., Макоед Н.М., Гремяко Н.Н., Кузменков Д.Е., Лучнина Я.А. Определение инспектируемых параметров дизельных топлив // Химия и технология топлив и масел, 2003. №6. С.45-48.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.371.3

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ЛИНЕЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ PHASED ARRAY LINEAR ERROR COMPENSATION METHOD

Алексей Вячеславович Прохорцов

доктор технических наук, доцент
заведующий кафедрой «ПБС»
ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет»

Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92

Тел.: 8 (4872) 35-05-52

E-mail: proxav@rambler.ru

Максим Владимирович Хрячков

аспирант
ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет»

Адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92

Тел.: 8 (4872) 35-05-52

E-mail: maxkhryachkov@gmail.com

Аннотация

В данной статье перечислены свойства радиолокационного сигнала. Дано описание фазированной антенной решетки и перечислены ее основные структурные элементы. Описывается погрешность фазированной антенной решетки, связанная с физическими свойствами фазовращателей и определен тип погрешности. Приведено описание работы существующих изделий. Перечислены ограничения, накладываемые на возможные методы коррекции. Рассматриваются методы, способные компенсировать данную погрешность. Подобрана регрессионная модель и рассчитаны коэффициенты полиномиальной регрессии, в достаточной степени корректирующие линейную погрешности фазовращателей. Осуществлено математическое моделирование коррекции погрешности, проведен анализ и сравнение полученных результатов.

Ключевые слова: аппроксимация, погрешность фазированной антенной решетки, компенсация погрешности, целочисленные вычисления.

Summary

This article lists the properties of a radar signal. A description of the phased antenna array is given and its main structural elements are listed. The error of a phased antenna array associated with the physical properties of phase shifters is described and the type of error is determined. A description of the operation of existing products is given. The limitations imposed on possible correction methods are listed. Methods are considered that can compensate for this error. The regression model is selected and the coefficients of polynomial regression are calculated, which sufficiently correct the linear errors of the phase shifters. Mathematical modelling of error correction is carried out; analysis and comparison of the obtained results are carried out.

Keywords: approximation, phased antenna array error, error compensation, integer calculations.

Введение

Под радиолокацией понимают обнаружение, определение положения, скорости и других характеристик подвижных и неподвижных объектов с использованием радиоволн, отражаемых, рассеиваемых или излучаемых этими объектами.

Информативными параметрами принимаемого радиолокационного сигнала могут быть: время поступления, частота, начальная фаза, амплитуда, направление прихода сигнала (два угла в пространстве), а также параметры поляризации электромагнитного поля.

В настоящее время в радиолокации используются электромагнитные колебания в диапазоне от 30 МГц до 300 ГГц. Первые РАС работали в метровом, позже начали использовать сантиметровый и миллиметровый диапазоны. Тем самым они позволили создать малогабаритные антенны с узкой диаграммой направленности

(ДН), обладающие высокой разрешающей способностью.

Как видно из сказанного выше, важным элементом радиолокации является непосредственно антенна – устройство, предназначенное для приема или излучения радиоволн.

В современной радиолокации одним из основных направлений исследований являются фазированные антенные решетки [1, 2]. Их преимущество перед другими видами антенн заключается в возможности получить требуемые радиотехнические показатели путем формирования определенного распределения амплитуд и фаз возбуждающих излучающие элементы токов или полей амплитудно-фазового распределения [3, 4].

Управление фазами (фазирование) позволяет: формировать (при весьма разнообразных расположениях излучателей) необходимую ДН

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

(например, остронаправленную — луч); изменять направление луча неподвижной ФАР и осуществлять быстрое, в ряде случаев практически безынерционное, сканирование — качание луча; управлять в определённых пределах формой ДН — изменять ширину луча, интенсивность боковых лепестков и т.п. Наибольшими возможностями обладают ФАР с электрическим сканированием [5]. Обычно радар с ФАР состоит из одного облучателя, одного маломощного усилителя, одного распределителя мощности, 1000-2000 передающих элементов и такого же количества фазовращателей. Структурная схема ФАР приведена на *рисунке 1*, где ИС — источник сигнала, РК — разделитель каналов, СУЛ — система управления лучом, ГИ — группа излучателей, И — излучатель.

Вне зависимости от типа используемой антенны увеличение количества излучающих элементов улучшает характеристики направленности радара. Самая важная и дорогая часть ФАР – фазовращатели (ФВ). Они обеспечивают создание разнообразных фазовых сдвигов по всему раскрыву и значительную скорость изменения этих сдвигов при сравнительно небольших потерях мощности. На СВЧ в современных ФАР широко используют ферритовые и полупроводниковые ФВ (с быстродействием порядка микросекунд и потерями мощности приблизительно 20%). Управление работой ФВ осуществляется при помощи быстродействующей электронной системы – системы управления лучом (СУЛ), которая в простейших случаях управляет группами элементов (например, строками и столбцами в плоских ФАР с прямоугольным расположением излучателей), а в наиболее сложных – каждым ФВ в отдельности. Однако, как и любое устройство, ФВ не могут дать 100% точности, что вносит определенную погрешность [6, 7], что, в свою очередь, влияет на точность антенны в целом.

Материалы и методы

Существует несколько способов, позволяющих выполнить коррекцию. Первый из них –

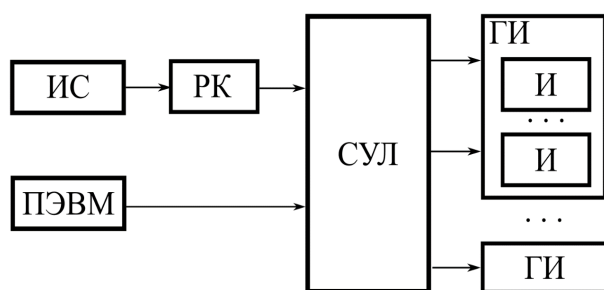


Рис. 1. Структурная схема ФАР

разработать вспомогательный блок, вносящий поправки в сигнал, направляющийся непосредственно к ФВ. Однако, для этого кроме непосредственно разработки данного блока необходимо вносить конструктивные изменения в уже существующие устройства, что является излишне трудоёмкой задачей. Второй же способ – добавить блок, осуществляющий коррекцию в существующее программное обеспечение устройства. Реализация данного варианта также имеет сложности, а именно – он будет вносить задержку в обработку сигнала, а также потребуются дополнительный объём памяти, однако эти сложности решаются гораздо проще, чем внесение конструктивных изменений.

Так, для коррекции такой погрешности необходимо внедрить промежуточный элемент, осуществляющий сдвиг угла в сторону, противоположную существующей погрешности. Это позволит осуществить корректировку погрешности не внося значимых изменений в существующие устройства и программное обеспечение, а лишь добавив последовательно новый элемент в существующую цепь. При этом для оператора данное изменение незаметно и, соответственно, нет необходимости изменять существующий порядок работы.

Экспериментальным путем было установлено, что значение данной погрешности для конкретной группы ФВ является постоянной величиной и, кроме того, в диапазоне углов -45° – 45° , представляет собой линейную зависимость. Так, для необходимого отклонения на угол α для идеальной коррекции погрешности необходимо передавать на ФВ значение набега, рассчитанное для некоего ka , где k – экспериментально полученный коэффициент коррекции, лежащий в диапазоне 0,9-1,1.

Стоит заметить, что в существующих изделиях [8] на модуль управления ФВ поступает уже рассчитанное значение величины набег $d\varphi_p$, зависящего от угла по формуле

$$d\varphi_p = \varphi_p \cdot K_{cj},$$

где $K_{\text{г}} = 2^n / 360^\circ$ — коэффициент перевода величины фазы из градусов в единицы круга;

$$\phi_p = \Delta l \cdot k = \Delta l \frac{360^\circ}{\lambda} = \frac{360^\circ \cdot dh \cdot \sin \alpha}{\lambda} = K \cdot \sin \alpha [\text{градус}],$$

где φ_b – требуемая величина фазы [градус];

 Δl – набег волны [м]; $\lambda = C / \nu$ – длина волны [м];

$k=2\pi/\lambda$ – волновое число, показывает изменение фазы на единицу длины;

K – результирующий коэффициент при синусе угла.

Так, для идеальной коррекции погрешности необходимо ввести коэффициент k непосред-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ственно под знак синуса. Однако данное действие приводит к необходимости предварительного вычисления арксинуса. Данное действие это отрицательно скажется как на итоговой точности вычислений, так и на их времени, что в свою очередь увеличит на скорости сканирования, что недопустимо.

Результаты

Исходя из приведенных выше аргументов, для осуществления коррекции было принято решение аппроксимировать необходимую функцию $\sin(ka)$ функцией $\sin a$, получая таблицу необходимых коэффициентов для каждого коэффициента k . Модели полиномиальной регрессии

обычно подбираются с использованием метода наименьших квадратов, минимизирующем дисперсию несмещенных оценок коэффициентов. Среди существующих прикладных пакетов программ, позволяющих проводить данные вычисления были выбраны CurveFittingToolbox (стандартный инструмент, интегрированный в Matlab) и Rstudio – среда разработки ПО для языка программирования R, предназначенного для статистической обработки данных. При этом не были использованы относительно сложные методы аппроксимации, поскольку они требуют больших вычислительных мощностей, либо их расчет занимает большое количество времени.

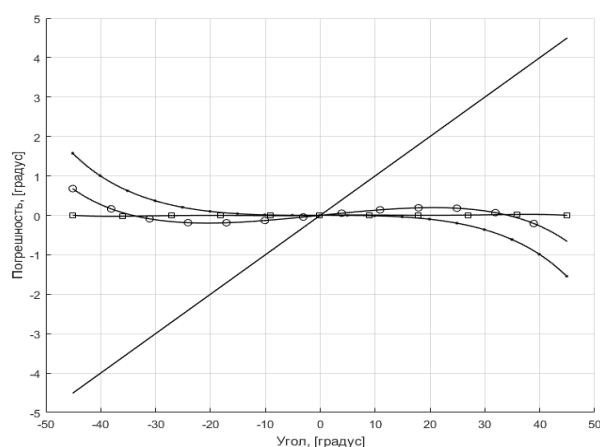


Рис. 2. Зависимость погрешности функций от угла

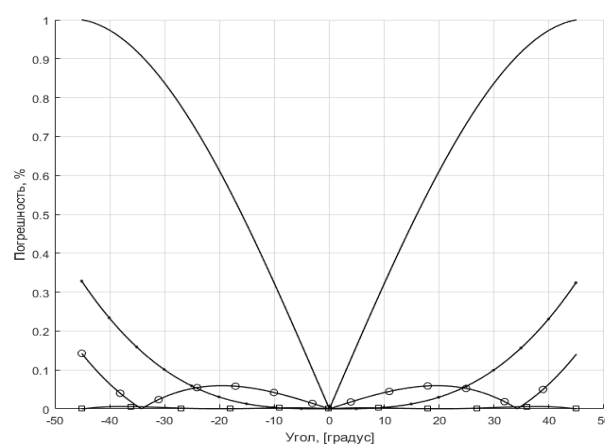


Рис. 3. Зависимость погрешности функций от угла в процентах

- - погрешность без коррекции,
- - погрешность при коррекции corr1,
- - погрешность при коррекции corr2,
- - погрешность при коррекции corr3.

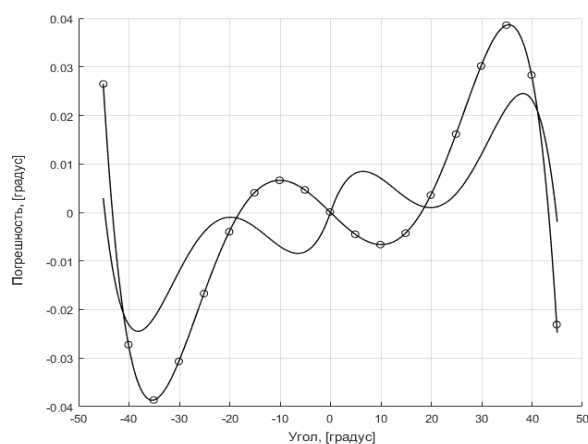


Рис. 4. Зависимость погрешности функций от угла

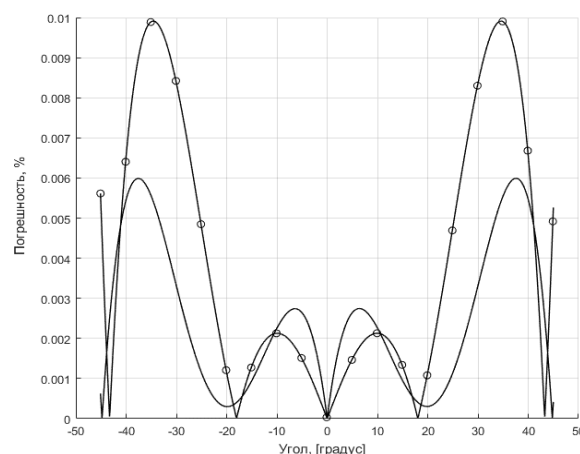


Рис. 5. Зависимость погрешности функций от угла в процентах

- - погрешность при коррекции corr3 при $k_2=0$,
- - погрешность при коррекции corr3

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Так, для проведения сравнения была построена зависимость погрешности нескорректированной функции от угла, а также аналогичные зависимости для аппроксимации полиномом первого (*corr1*), второго (*corr2*) и третьего (*corr3*) порядка (рисунк 2) без свободного члена [9]. Кроме этого, была построена зависимость погрешности от угла в процентах, где 100% – погрешность нескорректированной функции (рисунк 3)

$$\varphi_{uncorr} = \frac{360^0 \cdot dh \cdot \sin \alpha}{\lambda} = K \cdot \sin \alpha;$$

$$\varphi_{corr1} = k \cdot K \cdot \sin \alpha;$$

$$\varphi_{corr2} = k_1 \cdot K \cdot \sin \alpha + k_2 \cdot K \cdot \sin^2 \alpha;$$

$$\varphi_{corr3} = k_1 \cdot K \cdot \sin \alpha + k_2 \cdot K \cdot \sin^2 \alpha + k_3 \cdot K \cdot \sin^3 \alpha.$$

Как видно из рисунков 2,3, наиболее значимую коррекцию обеспечивает использование полинома третьей степени, однако его использование

может быть затруднено присутствием четной функции $\sin^2 \alpha$, для корректной работы которой необходимо знать знак угла, на который происходит отклонение. Сравним зависимости данного полинома и аналогичного полинома третьей степени, с коэффициентом $k_2 = 0$ (рисунки 4, 5).

Как видно, на больших углах погрешность второй функции выше, однако, при этом её реализация выполняется проще.

Также стоит заметить, что все приведенные выше вычисления выполнялись для значений в формате с плавающей точкой (*double*), что положительно сказывается на точности, но затруднительно реализуется. В связи с этим аналогичные вычисления для полинома третьей степени с коэффициентом $k_2=0$ были выполнены в целочисленных значениях (64 разряда, знаковые). Результаты вычислений приведены на рисунки 6, 7.

Видно, что вариант с целочисленными вы-

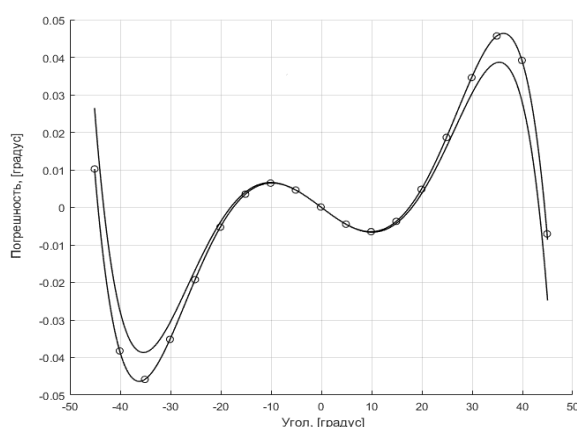


Рис. 6. Зависимость погрешности функций от угла

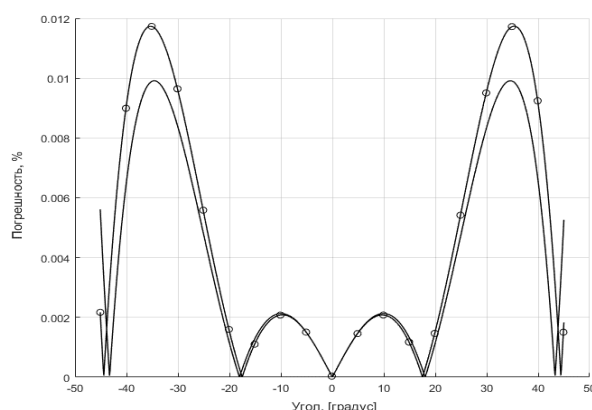


Рис. 7. Зависимость погрешности функций от угла в процентах

— - погрешность при коррекции corr3 при $k_2=0$,
○ - погрешность при коррекции corr3, целочисленно

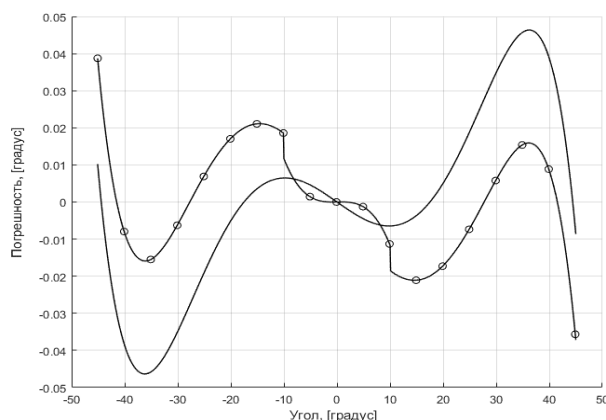


Рис. 8. Зависимость погрешности функций от угла

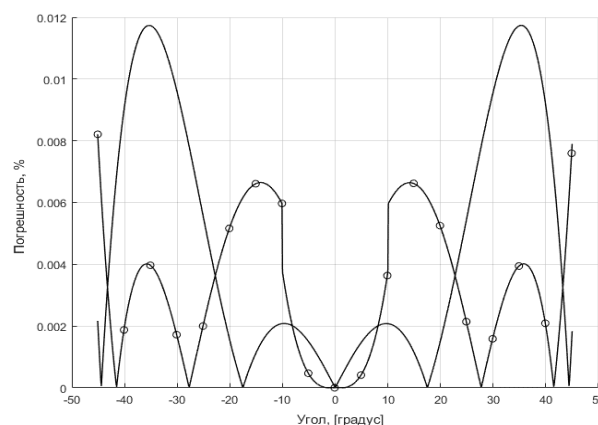


Рис. 9. Зависимость погрешности функций от угла в процентах

— - погрешность при коррекции corr3 при $k_2=0$,
—○— погрешность при коррекции corr4

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

числениями выполняет коррекцию хуже приблизительно на 10%.

Поскольку приведенные выше варианты просты для вычислений, но не обеспечивают достаточной точности, было принято решение совместить несколько из них в одной функции.

Так как известно, что при малых углах $\sin \alpha \approx \alpha$, а при больших углах указанная выше коррекция достаточно хороша, была использована следующая формула. Полученные графики приведены на рисунках 8,9.

$$\varphi_{corr4} = \begin{cases} k \cdot K \cdot \sin \alpha, & \text{если } |\alpha| \leq 10^\circ, \\ k_1 \cdot K \cdot \sin \alpha + k_3 \cdot K \cdot \sin^3 \alpha, & \text{иначе} \end{cases}$$

Как видно из рисунков, при использовании подобной функции её максимальная погрешность практически в два раза меньше исходной. Такое улучшение было достигнуто в первую очередь тем, что в первом случае коэффициенты $k1$ и $k3$ для полинома рассчитывались для диапазона

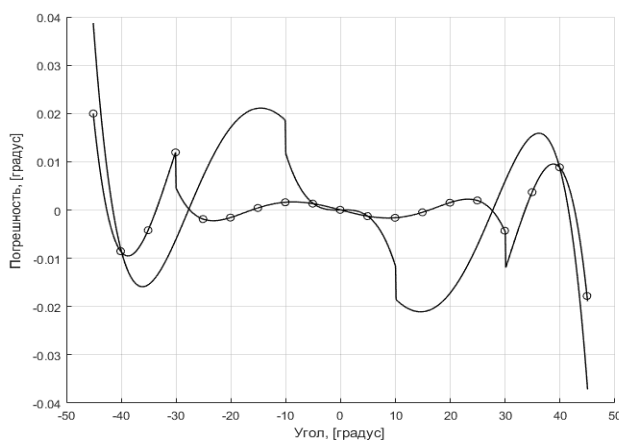


Рис. 10. Зависимость погрешности функций от угла

углов $0^\circ - 45^\circ$, а во втором — $10^\circ - 45^\circ$. При данном методе погрешность составляет до 2,4 минут, что является хорошим результатом.

При дальнейшем рассмотрении данной задачи было принято решение выполнять коррекцию согласно следующей формуле:

$$\varphi_{corr5} = \begin{cases} k_{11} \cdot K \cdot \sin \alpha + k_{13} \cdot K \cdot \sin^3 \alpha, & \text{если } |\alpha| \leq 30^\circ, \\ k_{21} \cdot K \cdot \sin \alpha + k_{23} \cdot K \cdot \sin^3 \alpha, & \text{иначе} \end{cases}$$

Графики (рисунки 10, 11) показывают, что полученный результат значительно лучше предыдущего.

В качестве теоретического эксперимента было принято решение сравнить величины коррекции, полученные предыдущим методом с полиномом третьей степени, учитывающим значение k_2 , при этом коэффициенты которого также различны для разных интервалов:

$$\varphi_{corr6} = \begin{cases} k_{11} \cdot K \cdot \sin \alpha + k_2 \cdot K \cdot \sin^2 \alpha + k_{13} \cdot K \cdot \sin^3 \alpha, & \text{если } |\alpha| \leq 30^\circ, \\ k_{21} \cdot K \cdot \sin \alpha + k_2 \cdot K \cdot \sin^2 \alpha + k_{23} \cdot K \cdot \sin^3 \alpha, & \text{иначе} \end{cases}$$

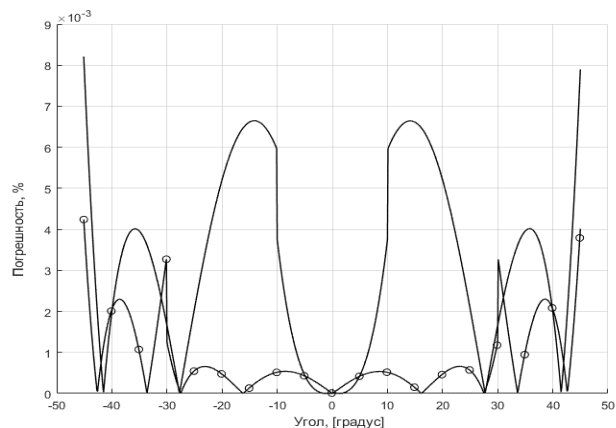


Рис. 11. Зависимость погрешности функций от угла в процентах

— погрешность при коррекции corr4,
○ — погрешность при коррекции corr5

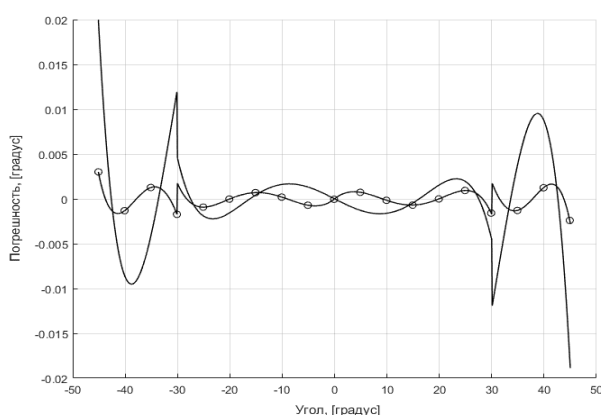


Рис. 12. Зависимость погрешности функций от угла

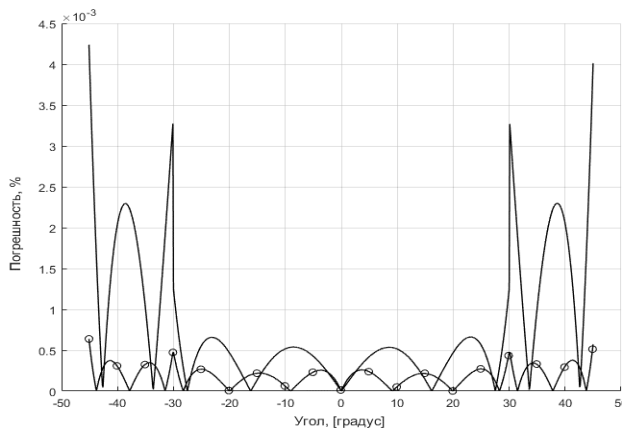


Рис. 13. Зависимость погрешности функций от угла в процентах

— погрешность при коррекции corr5,
○ — погрешность при коррекции corr6

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Полученные таким результаты (рисунки 12, 13) заметно лучше предыдущих, однако определение знака угла внесет как дополнительные временные задержки, так и увеличит необходимый объем памяти устройства.

В данной работе не рассматривается использование полиномов высоких степеней поскольку известно [10], что они крайне неустойчивы.

Заключение

Во время выполнения работы было определено, что в большинстве своем используются системы, основанные на использовании фазовращателей, управляемых СУЛ, сигнал на которую поступает с управляющего блока. При этом для управления намагничиванием/размагничиванием фазовращателей значение угла фигурирует исключительно в управляющем блоке, а дальнейшие модули оперируют уже рассчитанным значением набега, что отрицательно сказывается на возможности корректировки погрешностей. В связи с этим, возможным направлением исследований является возможность оперирования углом сдвига луча во всех модулях, кроме ПЛИС, в которой аппаратными методами по известным формулам будет происходить расчет синуса для вычисления набега для каждого фазовращателя. Это позволит контролировать значение погрешностей, рассчитывать и применять необходимые поправочные коэффициенты непосредственно в СУЛ, что положительно скажется на точности луча.

Был разработан метод коррекции, основанный на внесении дополнительного элемента в структурную схему ФАР, позволяющего в зависимости от рассчитанных коэффициентов осуществлять коррекцию луча без участия оператора данной системы. При этом предполагается сохранение данных в постоянной памяти устройства, что позволит применять его для

различных антенн (не будет уникальной пары устройств типа блок-антенна).

Литература

1. Дзюба А.П. Перспективы развития фазированных антенных решеток // Вестник ДГТУ. Технические науки, 2013. №3.
2. Красненко Н.П., Раков А.С., Раков Д.С., Шендик Д.А. Акустическая антенная решетка с электронным управлением лучом диаграммы направленности // Доклады ТУСУР, 2013. №3 (29).
3. Хрячков М.В. Актуальность исследований в области фазированных антенных решеток // XVI Региональная магистерская научная конференция. Сборник докладов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2021.
4. Дробышев С.В. Принципы функционирования, классификация, тенденции развития и отличительные особенности антенных решеток // Наука и образование сегодня, 2016. №10 (11).
5. Скосырев В.Н. Методы обзора пространства в современных многофункциональных РЛС // Машиностроение и компьютерные технологии, 2014. №12.
6. Устройство для определения погрешности фазовращателей. Патент России №RU2015616C1 1994/ Прокофьева И.Я., Беляков О.А., Догадаев В.А., Иванов А.С.
7. Макушкин И.Е и др. Метод измерения угловых ошибок пеленга в системе «антенна – обтекатель» в области сканирования луча ФАР // Вестник Концерна ВКО Алмаз-Антей, 2019. №2(29).
8. Распределенная система управления лучом. Патент России №RU2632983C2 2016 / Хомяков А.В. и др.
9. Стрижов В.В., Крымова Е.А. Методы выбора регрессионных моделей. М.: ВЦ РАН, 2010. 60 с.
10. Дрейпер Н., Смит Г., Прикладной регрессионный анализ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. 912 с.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 519.21; 519.713; 53.02

РЕКУРРЕНТНЫЕ НАТУРАЛЬНЫЕ МУЛЬТИПЛИКАТОРЫ RECURRENT NATURAL MULTIPLIERS

Вадим Николаевич Лесных

младший научный сотрудник
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл.,
г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-92-62
E-mail: 1253vadim@mail.ru

Валерий Александрович Коломбет

кандидат физико-математических наук
заведующий лабораторией
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
E-mail: v.kolombet@rambler.ru

Александр Владимирович Елистратов

ведущий инженер
Институт теоретической и
экспериментальной биофизики РАН
Тел. +7 (4967) 73-94-64
E-mail: unenlagia@yandex.ru

Аннотация

Рекуррентные натуральные мультипликаторы представляют собой наиболее простые самовоспроизводящиеся автоматы, поэтому вероятность их самопроизвольного появления в природе и вероятность успеха целенаправленного внедрения их в народное хозяйство выглядит особенно большими. Способность этих устройств повторять в небольшое натуральное количество раз (утраивать, удваивать и просто воспроизводить) характеристики природных явлений и объектов путем копирования делает такие мультипликаторы важными инструментами для постановки и достижения различных целей в процессе развития современных наукоемких технологий.

Ключевые слова: утроение периода, универсальная система утраивающихся периодов, мониторинг частоты, темпоральный фрактал, трипликатор, дубликатор, унпликатор, вселенная, биосфера.

Summary

Recurrent natural multipliers are the simplest self-reproducing automata, so the probability of their spontaneous appearance in nature and the probability of success of their purposeful introduction into the national economy looks especially large. The ability of these devices to repeat in a small natural number of times (triple, double and simply reproduce) the characteristics of natural phenomena and objects by copying makes such multipliers important tools for setting and achieving various goals in the development of modern high-tech technologies.

Keywords: period tripling, universal period-tripling system, frequency monitoring, temporal fractal, triplicator, duplicator, unplicator, universe, biosphere.

Рекуррентные натуральные мультипликаторы в физическом мире – это устройства, способные воспроизводить или увеличивать (мультиплицировать) исходный физический объект в целое (точнее, в натуральное) число раз, создавая цепи стереотипных увеличений. Частично эти устройства могут быть использованы в технологических процессах для повышения эффективности производства. Важно отметить, что некоторые рекуррентные натуральные мультипликаторы представляют или могут представлять собой реальные устройства и процессы в нашем физическом мире. Они проявляются в природных процессах, где могут представлять, например, размножение и рост организмов, а также их аналоги. Способность повторять из-

менение величин природных явлений именно в целое число раз делает их важными инструментами для постановки и достижения различных целей при развитии современных технологий.

В работе [1] мы уже описали два рекуррентных натуральных мультипликатора – реальный дубликатор и гипотетический/предполагаемый трипликатор, изучаемый нами в лабораторном эксперименте. И каждый из них и оба они вместе так или иначе сами по себе уже привели (или могли бы привести) к грандиозным следствиям.

Трипликатор

Рекуррентный натуральный трипликатор, проявляется, в частности, в утроении периодов различных процессов в самых разных времен-

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ных масштабах. Согласно нашим представлениям, при этом он создает УСУП – универсальную систему утраивающихся периодов [1,2]. Периоды УСУП экспериментально определены с большой точностью: эмпирическая константа формулы Петца период $T(0,0)=114.572218767559$ лет – число с 15-ю значащими цифрами. Эта или близкая к ней точность обусловлена, по-видимому, экспоненциальным характером формулы

$$T(k,m)=T(0,0)\times(3^{k/2^m}),$$

связывающей экспериментально измеряемые в различных масштабах времени периоды УСУП с целочисленными параметрами k и m и с размерной константой $T(0,0)$.

Мы наблюдаем УСУП при мониторинге в общем-то случайно выбранного нами околосекундного периода, удобного для наших экспериментов [3]. Результаты наших исследований в этой области описаны также в статьях [4-10]. Результаты, полученные в этой и смежных областях российскими и зарубежными исследователями, см. в публикациях [11-20].

Мы предполагаем, что именно рекуррентный натуральный трипликатор мог создать всю физическую вселенную.

Продлив в результате своих исследований нижнюю границу диапазона УСУП от $k\approx 15$ до $k=-51$, мы осознали, что феномен УСУП простирается уже почти на 30 десятичных порядков. Безо всякого сомнения это означает крайнюю общность физической природы УСУП: при смене характерного времени в десятки, сотни, а, тем более, в миллионы, миллиарды и т.д. раз физические условия меняются настолько радикально, что от явлений прежнего масштаба ничего не остается. Феномен УСУП переходит, таким образом, в разряд фундаментальных физических феноменов.

Обратив также внимание на то, что при смещении на десятки десятичных порядков, расчетные значения периодов нисколько не сместились относительно экспериментальных, легко получить уверенность в существовании продолжения УСУП в область периодов еще более микроскопических процессов. Очевидный предел этой экспансии УСУП задает уже само устройство мироздания. Принципиальный предел – планковский масштаб – достигается уже при удвоении логарифмического масштаба (рисунк 1).

Таким образом, естественно предположить, что фундаментальная природа УСУП обусловлена тем, что процедура утроений периодов может зародиться где-то в окрестности планковского времени.

Возможную рекуррентную процедуру, близкую к образованию структуры, напоминающей УСУП, описывает процесс образования равностороннего треугольника Серпинского (ТС). На рисунке 2 слева в рамочке выделена итерационная процедура, повторения которой приводят к ТС. Количество прямолинейных отрезков (графического представления периодов) на рисунке растет как 3^k , а размер каждого такого отрезка уменьшается в 2^k раз.

Чтобы приблизиться к имитации реальной УСУП нужно в процедуру итерации включить на каждом этапе удвоение. В результате возникнет триплицирование, т.е. 3^k , и всего примерно за 130 итераций утроения линейный планковский период скомкается в треугольник Серпинского, а общая длина его ломаной линии достигнет масштабов космологического времени.

На рисунке 3 представлена пара иллюстраций из серии последних экспериментальных результатов в этой области. В ходе попыток линейного сканирования частоты генератора наблюдаются

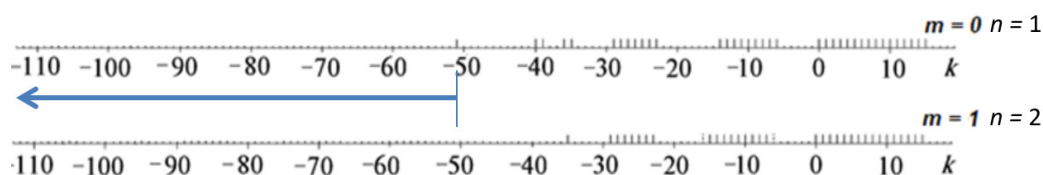


Рис. 1. УСУП уже подтверждена и исследована в более чем в половине масштабов вселенной (см. метки на осях). Принципиальным становится вопрос об УСУП в планковском масштабе (см. самый левый край на рисунке, куда показывает стрелка из окрестности последнего изученного нами микромасштаба $k=-51$, где – в области оптических частот – функционирует зрение человека и животных)



Рис. 2. Образование треугольника Серпинского. Алгоритм итерационной процедуры выделен в рамочке. Алгоритм трипликатора отличается удвоением масштаба на каждом этапе итерационного процесса. В результате длины трех новорожденных отрезков в рамочке будут равны длине исходного. Соответственно, в трипликаторе финальный треугольник Серпинского достигнет космологического размера

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

аномалии, задержки и выбросы именно на периодах УСУП.

Нобелевские премии здесь еще не выданы, хотя пионеры этого направления Х. Мюллер из Германии и С. Петц из США [11,12,17-20] (см. также отечественные работы [13-16]), проторившие дорогу нашим исследованиям в этой области, выглядят вполне достойными кандидатами на эту премию.

Дубликатор

Рекуррентный натуральный дубликатор чрезвычайно важен: на Земле его работа, последовательно удваивающая биомассу, создала земную биосферу, в том числе и исследователей феномена УСУП. Основанием для дубликатора стало обнаружение микроскопистами и биологами клеточная структура биомассы. В частности, это приводит к формуле дубликатора

$$M(k,m)=M(0)\times(2^{k/2^m}),$$

где $M(0)$ – биомасса средней клетки;

$M(k,m)$ – биомасса, накопившаяся в клеточной культуре после k итераций. Здесь m – эффективное число мутаций ускоряющих и замедляющих размножение клеток.

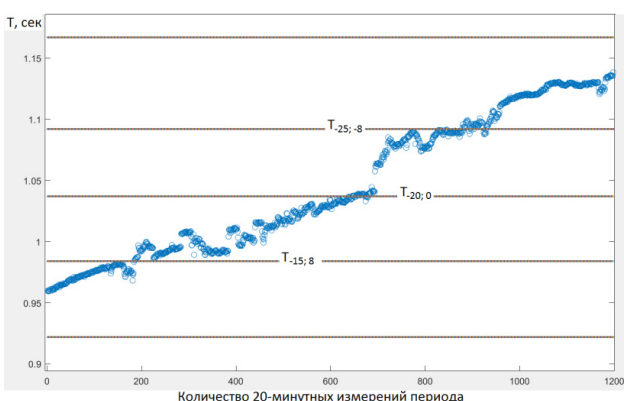
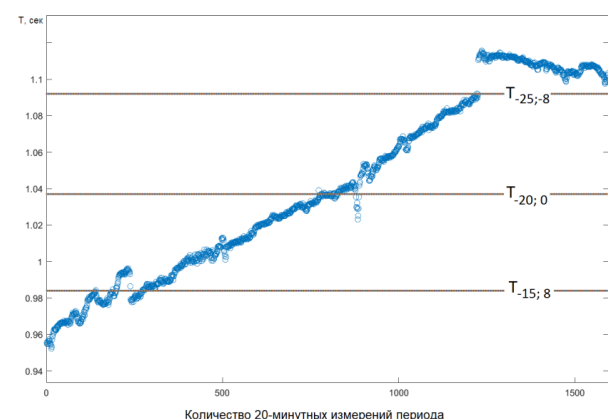


Рис. 3. Очередные экспериментальные наблюдения периодов УСУП при многонедельном мониторинге периодов электрических колебаний в околосекундном диапазоне периодов

На рисунке 4 приведены схематические изображения дубликатора (вверху) и трипликатора (внизу). Их отличие лишь в характере ветвления, т.е. в основании степени мультипликатора: двойка это или тройка?

В этой области ключевые Нобелевские премии уже выданы: в 1961 г. Джеймсу Д. Уотсону, Френсису Крику и Морису Х.Ф. Уилкинсу за расшифровку структуры молекулы ДНК, а в 1993 г. Кэри Муллису за создание экспериментального ПЦР-метода массового копирования коротких фрагментов ДНК.

Унпликатор

Упущенный нами в предыдущих работах случай рекуррентного натурального мультипликатора – это тот особенный случай, когда натуральный коэффициент умножения в мультипликаторе равен единице. Т.е. это случай не умножения, мультиплицирования, а «простого» воспроизводства исходной структуры. По сути, этот раздел исследования в статье посвящён именно этому «вырожденному» случаю.

В последнее столетие найдены мультипликаторы, которые можно охарактеризовать как унпликаторы. В качестве примера можно представить класс цепных реакций в химических системах [21-23].

Автором термина «Цепная реакция» был немецкий химик и физик Макс Боденштейн, который в 1913 г. обнаружил, что в некоторых фотохимических реакциях (пример: реакция водорода с хлором с образованием хлороводорода и оксида углерода с хлором с образованием фос-

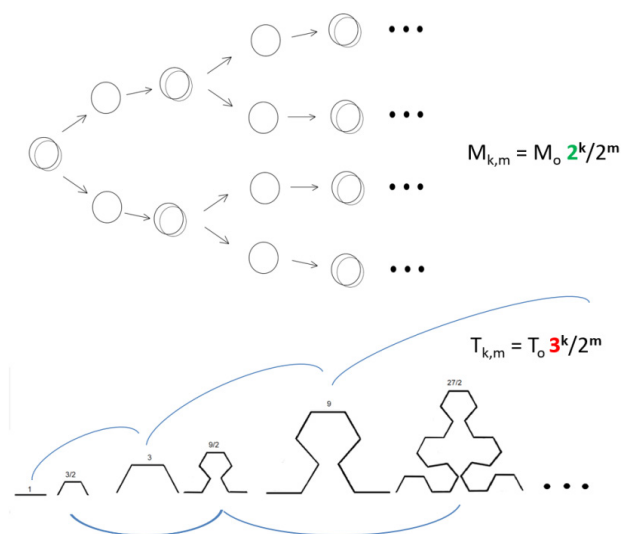


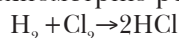
Рис. 4. Схематические изображения дубликатора (вверху) и трипликатора (внизу). Их отличие заключено в основании степени мультипликатора: двойка это или тройка?

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

гена) [23]. В данном случае поглощение одного фотона приводит к взаимодействию сотен тысяч молекул исходных веществ. Поскольку существовало понимание того, что каждый фотон способен поглотиться только одной частицей, был сделан вывод, что остальная цепь превращений вызывается активными частицами без дальнейшего участия квантов света. Боденштейн предложил в качестве такой активной частицы возбуждённую молекулу хлора Cl_2 . А в 1916 г. другой немецкий химик В. Нернст предложил последовательную схему реакции молекул водорода и хлора (неразветвлённая цепная реакция), поскольку активные частицы имеют атомарную природу. Эта схема:



Последовательная цепь превращений, в которых сохраняется активная частица ($\text{Cl}\cdot$ или $\text{H}\cdot$), может вовлечь очень много молекул исходных реагентов (Cl_2 и H_2), при этом формула реакции отражает стехиометрию реакции:



Большой вклад в развитие исследования цепных реакций сделан Семёновым Н.Н. и Хиншльвудом С.Н. За разработку теории цепных реакций в 1956 году они были удостоены Нобелевской премии по химии.

Вывод

Ключевые результаты, полученные в области изучения рекуррентных натуральных мультипликаторов, практически немедленно отмечаются Нобелевскими премиями. Это показывает принципиальную важность исследований именно в этой области. В частности, это область экспериментального и теоретического изучения феномена универсальной системы утраивающихся периодов.

Литература

1. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Панчелюга В.А. Самовоспроизводящиеся автоматы во вселенной: жизнь, универсальная система утраивающихся периодов, фундаментальные взаимодействия // Известия Института инженерной физики, 2022. №2(64). С.2-4.
2. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Бондарь А.Т. Треугольник Серпинского как удобная математическая модель для описания универсальной системы утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2018. №1(47). С.63-68.
3. Коломбет В.А., Платонов А.О., Лесных В.Н. Мониторинг периода мультивибратора как способ изучения универсальной системы утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2022. №4(66). С.13-19.
4. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Утраивающиеся периоды в мультимасштабных физических и биологических явлениях // Биофизика, 2015. №60(6). С.1208-1215.
5. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Федоров М.В. Обнаружение в технических устройствах фрактальной системы утраивающихся периодов, известной по своим физическим, геофизическим, биофизическим и биологическим манифестациям // Биофизика, 2016. №61(3). С.615-624.
6. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Елистратов А.В., Коломбет Е.В., Федоров М.В., Шноль С.Э. Экспериментальный подход к исследованию универсальной системы утраивающихся периодов // Биофизика, 2019. №64(2). С.396-408.
7. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Шноль С.Э. Выявление дискретных состояний универсальной системы утраивающихся периодов при варьировании частоты генератора периодических колебаний // Биофизика, 2019. №64(6). С.1163-1168.
8. Коломбет В.А., Архипов И.Ю., Елистратов А.В., Лесных В.Н., Коломбет Е.В., Серая О.Ю. Стохастика и мутации в универсальной системе утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2018. №2(48). С.56-62.
9. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. О возникающей перспективе переопределения длительности секунды и длины метра // Известия Института инженерной физики, 2019. №2(52). С.77-83.
10. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Елистратов А.В. Трипликатор как механизм формирования универсальной системы утраивающихся периодов // Известия Института инженерной физики, 2020. №4(58). С.5-10.
11. S.J. Puetz, A. Prokoph, G. Borchardt et al, Chaos, Solitons & Fractals 62-63, 55 (2014).
12. Muller H., Fractal scaling models of resonant oscillations in chain systems of harmonic oscillators. Progress in physics. (2009) iss. 2. Pp.72-76.
13. Аршинов В.И., Буданов В.Г. / В сб. Самоорганизация и наука: опыт философского осмысления. Арго, ИФ РАН, 1994. 349 с.
14. Буданов В.Г. Синергетика ритмокаскадов в эволюционирующих системах. Труды юбилейной сессии РАЕН «Леонардо да Винчи XX века. К 100-летию А.А. Чижевского». 27-28 февраля 1997. Москва. С.34-35.
15. Кулинкович А.Е. В кн. Вернадскианская революция в системе научного мировоззрения – поиск ноосферной модели будущего человечества в XXI веке. Коллективная монография под науч. ред. Субетто А.И. СПб.: Астерион, 2003. 352 с.
16. Буданов В.Г. Самоорганизация времени:

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

эволюция партитуры / В сб. Синергетика времени. Под ред. Аршинова В.И. М., 2007. С.46-72.

17. Puetz S.J. «The Unified Cycle Theory: How Cycles Dominate the Structure of the Universe and Influence Life on Earth» (2009) Outskirts Press, Denver, Colorado.

18. Puetz S.J. Unified Cycle Theory: Introduction & Data. (2010) Proceedings of the NPA, Long Beach 2010 Annual Conference.

19. Puetz S. J., Borchardt G. Quasi-periodic fractal patterns in geomagnetic reversals, geological activity, and astronomical events. Chaos Solitons & Fractals 81, 246-270 (2015).

20. Puetz S.J. Prokoph A., Borchardt G. Evaluating alternatives to the Milankovitch theory. Journal of Statistical Planning and Inference. 170, March 2016. Pp.158-165.

21. Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия: Пер. с англ. В 2-х т. М.: Прогресс, 1992. 781 с.+861 с.

22. Hinshelwood Sir. Cyril Norman (1897-1967). Chemist (англ.)

23. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BF%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_\(%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BF%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_(%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F))

УДК 621.391

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОДОВ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ ПО МЕТОДУ ПРЯМОЙ МОДУЛЯЦИИ ПСП

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF CORRECTION CODES IN RADIO COMMUNICATION SYSTEMS WITH SPREAD SPECTRUM USING THE METHOD OF DIRECT MODULATION OF THE PSP

Владимир Владимирович Зеленовский
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

Юрий Владимирович Зеленовский
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

Анатолий Владимирович Зеленовский
начальник отдела
АО «Фирма НТЦ КАМИ»
Адрес: 143441, Московская обл., г.о.
Красногорск,
д. Путилково, ул. Спасо-Тушинский бульвар,
д. 7
Тел.: 8 (926) 915-96-18

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

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

Аннотация

В статье решена задача по определению оптимальных (квазиоптимальных) параметров корректирующих кодов в системах радиосвязи с расширенным спектром по методу прямой модуляции ПСП. Введённый показатель помехозащищённости системы радиосвязи, в отличие от известных, учитывает скорость (избыточность) кодирования и статистические характеристики декодирования кодов, которые определяют вероятность доведения сообщения до получателя.

Ключевые слова: информационный модем, расширяющий модулятор, сужающий демодулятор, блочные и свёрточные коды, длина кодового ограничения, вероятность битовой ошибки, скорость кодирования, база сигнала, оптимальное декодирование, вероятность доведения сообщения, помехозащищённость.

Summary

The article solves the problem of determining the optimal (quasi-optimal) parameters of correction codes in radio communication systems with a spread spectrum using the method of direct PRS modulation. The introduced indicator of noise immunity of the radio communication system, in contrast to the known ones, takes into account the speed (redundancy) of coding and the statistical characteristics of decoding codes, which determine the probability of bringing the message to the recipient.

Keywords: information modem, spreading modulator, despreading demodulator, block and convolutional codes, code constraint length, bit error probability, coding rate, signal base, optimal decoding, message delivery probability, noise immunity.

Известна структурная схема системы радиосвязи (рисунк 1), в которой для повышения помехозащищённости используется кодирование данных и сигнал с расширенным спектром по методу прямой фазовой модуляции несущей псевдослучайной последовательностью [1].

На передающей стороне двоичные данные поступают на вход кодирующего устройства (КУ), которое формирует избыточный (корректирующий) код с параметрами (n, k) , где n – длина кода, k – число информационных символов [3]. Информационный модулятор (ИМ) формирует

сигнал с относительной фазовой манипуляцией несущей частоты генератора (G). Расширяющий модулятор (РМ) формирует сигнал с расширенным спектром в соответствии с двоичной генераторной псевдослучайной последовательностью (ГПСП), длина которой равна B (база сигнала) [1,2]. Оконечные каскады (ОК) радиопередающего устройства обеспечивают требуемые полосу пропускания и мощность излучения.

На приёмной стороне входные каскады (ВК) обеспечивают частотную избирательность сигнала, сужающий демодулятор (СДМ) осуществляет свёртку принятого сигнала с известной копией ПСП, а информационный демодулятор (ИМД) осуществляет когерентное детектирование принятых двоичных символов (между генераторами ПСП передатчика и приёмника реализуется синхронизация по времени задержки ПСП, между генераторами G передатчика и приёмника реализуется синхронизация по частоте с точностью до фазы [1,2]).

Известно [2], помехозащищённость такой системы радиосвязи определяется выражением

$$P = B \cdot P_0 \text{ при } P_{\text{ош}} = f(B, P_0, N) = \text{const},$$

где B – база сигнала, равная $B = \frac{\Delta F \cdot k}{R_n \cdot n}$;

ΔF – полоса пропускания радиоприёмника;

R_n – скорость передачи данных;

k/n – скорость канального кодирования;

P_0 – вероятность ошибочного приёма двоичного символа на выходе информационного демодулятора;

$P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибочного приёма кодограммы, состоящей из N двоичных символов, на выходе декодирующего устройства.

При фиксированных значениях $\Delta F = \text{const}$, $R_n = \text{const}$ помехозащищённость будет определяться выражением

$$v = 10 \lg \left(\frac{k}{n} P_0 \right) \text{ при } P_{\text{ош}} = f(k/n, P_0, N) = \text{const}.$$

Постановка задачи

Известны параметры корректирующих кодов $(n, k, d_{\min})$, их статистические характеристики декодирования ($P_b = f(P_0)$), длина передаваемого

сообщения (N), требования, предъявляемые к системе радиосвязи по вероятности доведения сообщений $P_{\text{дог}}$. Требуется определить квазиоптимальные параметры корректирующего кодирования данных, которые обеспечивают $\max_{(n,k)} v$ при $P_{\text{дог}} = f(k, n) = \text{const}$.

Решение задачи

Известно [3], вероятность доведения сообщения до получателя определяется выражением

$$P_{\text{дог}} = (1 - P_b)^N,$$

где P_b – вероятность битовой ошибки на выходе второй решающей схемы приёмника (декодирующего устройства).

Вероятность P_b зависит от параметров кодов и для порогового метода декодирования по синдрому равна [3]:

$$P_b = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n C_n^i P_o^i (1 - P_o)^{n-i},$$

где t – число ошибок, которое гарантированно исправляет код, равное

$$t = \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor,$$

P_o – вероятность битовой ошибки на выходе первой решающей схемы приёмника (детектора);

$d_{\min}$ – минимальное кодовое расстояние.

Зададимся параметрами двоичных блочных циклических кодов [3] и для них получим значения вероятностей $P_{\text{дог}}$, P_b , $P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{дог}}$, показателя помехозащищённости v при $N = 120$ двоичных символов (таблица 1).

Анализ результатов расчетов, представленных в таблице 1, показывает:

- при $d_{\min} = \text{const}$ существуют блочные коды с оптимальной скоростью кодирования k/n , которые обеспечивают наибольшую помехозащищённость v при $P_{\text{ош}} = \text{const}$ (код Голея со скоростью кодирования 12/23);

- при $n = \text{const}$ с уменьшением скорости кодирования k/n (увеличением $d_{\min}$) помехозащищённость блочных кодов повышается (код (31,6,15) при $P_{\text{ош}} \leq 1,2 \cdot 10^{-4}$ превосходит по показателю v код с параметрами $n = 31, k = 11, d_{\min} = 11$);

- при $n = \text{const}$ ($n = 127$) существует оптимальная скорость кодирования ($k/n = 64/127$), при ко-

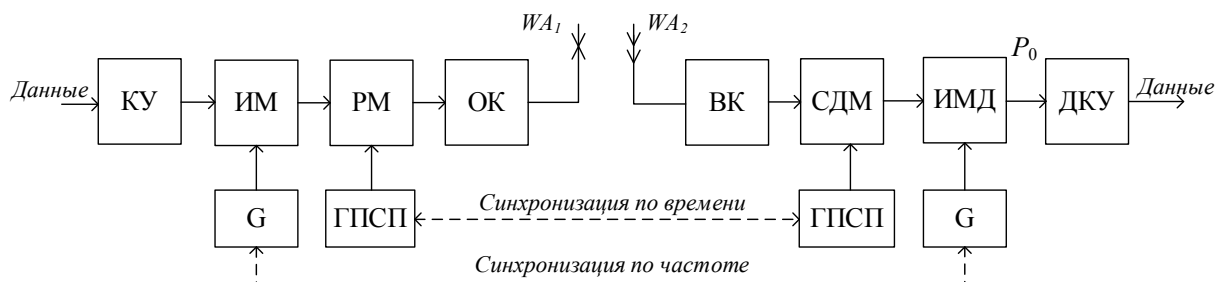


Рис. 1. Структурная схема кодированной системы радиосвязи с расширенным спектром сигнала

торой обеспечивается наибольшая помехозащищённость v ;

- увеличение длины кода ($n=255$) способствует повышению помехозащищённости примерно на 1,5 дБ, хотя значительно усложняет техническую реализацию кодирующего и декодирующего устройств.

Среди исследуемых кодов (таблица 1) привлекает внимание циклический код (31,6,15), который может быть декодирован по методу максимального правдоподобия, т.е. оптимально [2]. Для реализации такого декодирования необходимо иметь запоминающее устройство на $2^6=64$ кодовых комбинаций по 31 разряду (требуется $64 \times 31 = 1984$ ячеек памяти, что не вызывает технических трудностей).

В то же время оптимальное декодирование позволяет уменьшить вероятность ошибочного декодирования кодовой комбинации по сравнению с пороговым декодированием по синдрому [2].

Выражения, определяющие вероятность ошибочного декодирования кодовой комбинации P_{κ} , следующие:

- для порогового декодирования по синдрому [3]:

$$P_{\kappa} = \sum_{i=0}^n C_n^i P_0^i (1-P_0)^{n-i};$$

- для оптимального декодирования [4]:

$$P_{\kappa} = 1 - (P_1 + P_2 + P_3),$$

где

$$P_1 = \sum_{i=0}^l C_n^i P_0^i (1-P_0)^{n-i},$$

$$P_2 = \sum_{s=0}^{d_{\min}} C_n^s P_0^s (1-P_0)^{n-s} \prod_{S=0}^{s-1} \left(1 - \frac{C_n^{s-S} C_n^{s-S}}{C_n^s} \right)^{2^{k-1}},$$

$$P_3 = \sum_{z=d_{\min}+1}^{n-1} C_n^z P_0^z \prod_{S=0}^{z-1} \left(1 - \frac{C_n^{z-d_{\min}+S} C_n^{d_{\min}-S}}{C_n^z} \right)^{2^{k-1}}.$$

В таблице 2 представлены значения вероятностей P_{σ} , P_b , $P_{ош}$ и помехозащищённости v для биортогонального двоичного кода (32,6,16) с оптимальным декодированием (код (32,6,16) близок по параметрам с циклическим кодом (31,6,15)).

Сравнивая значения показателя помехозащищённости v для циклического кода (127,64,21), представленного в таблице 1, и значения v для биортогонального кода (32,6,16), который декодируется по максимуму правдоподобия, можно сделать вывод о предпочтении последнего.

Сравним значения показателя помехозащищённости v , полученного для двоичных блоч-

Таблица 1
Помехозащищённость блочных циклических кодов

Параметры блочных кодов ($n, k, d_{\min}$)	Вероятность P_o	Вероятность P_b	Вероятность $P_{ош} = 1 - P_{оов}$	Помехозащищённость v , дБ
(31,16,7)	0,0134896	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-21,572
	0,0040738	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-26,772
	0,0012735	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-31,822
(23,12,7) код Голея	0,0169824	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-20,525
	0,005188	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-25,675
	0,00162181	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-30,725
(31,6,15)	0,060256	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-19,332
	0,0316228	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-22,132
	0,0171791	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-24,782
(31,11,11)	0,0338844	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-19,2
	0,0146218	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-22,85
	0,00660693	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-26,3
(127,99,9)	0,00732825	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-22,432
	0,00266073	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-26,832
	0,00102329	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-30,982
(127,64,21)	0,0288403	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-18,376
	0,0169824	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-20,676
	0,0104713	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-22,776
(127,8,63)	0,138038	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-20,607
	0,108393	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-21,657
	0,0881049	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-22,557
(255,123,39)	0,0367282	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-17,516
	0,025704	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-19,066
	0,0190546	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-20,366

ных циклических кодов, с показателем v для двоичных свёрточных кодов. Для этого выберем группу свёрточных кодов [3]:

- свёрточные коды со скоростью кодирования $r_q = 1/2$, имеющие: кодовое ограничение $K=9$, просвет $d_f=12$, длину окна декодирования

$$n_0 = K \cdot \frac{1}{r_q} + (K-1) \cdot \frac{1}{r_q} = 34$$

двоичных символов; длина кодовой последовательности

$$n_{\Sigma} = N \cdot \frac{1}{r_q} + (K-1) \cdot \frac{1}{r_q} = 256$$

двоичных символов;

кодовое ограничение $K=5$, просвет $d_f=7$, $n_0=5 \cdot 2 + 4 \cdot 2 = 18$ двоичных символов; длина кодовой последовательности $n_{\Sigma}=248$ двоичных символов;

- свёрточный код со скоростью кодирования $r_q = 1/3$, $K=7$, просвет $d_f=15$, $n_0=7 \cdot 3 + 6 \cdot 3 = 39$ двоичных символов, $n_{\Sigma}=378$ двоичных символов.

В этом случае вероятность битовой ошибки на выходе декодера определим по выражению

$$P_b = \frac{1}{n_0} \sum_{i=t+1}^{n_0} C_{n_0}^i P_0^i (1-P_0)^{n_0-i},$$

где $t = \left\lceil \frac{d_f-1}{2} \right\rceil$,

$v = 10 \lg(N/n_{\Sigma} P_o)$ при $P_{ош} = const$.

Оценки вероятностей $P_{дов}$, P_b , $P_{ош} = 1 - P_{дов}$, показателя помехозащищённости v при $N=120$ дво-

ичных символов представлены в таблице 3.

Анализ результатов, представленных в таблице 3, показывает:

- при $r_q = const$ увеличение кодового ограничения K приводит к увеличению помехозащищённости, особенно при возрастании требований к достоверности доведения сообщения (для вероятности $P_{ош} < 10^{-4}$);
- при уменьшении скорости кодирования ($r_q = 1/3$) помехозащищённость заметно увеличивается (при $P_{ош} < 10^{-4}$ свёрточный код, имеющий $K=9$, $r_q = 1/2$, уступает ~ 2 дБ коду $K=7$, $r_q = 1/3$).

Сравнение помехозащищённости двоичных блочных циклических кодов и свёрточных кодов показывает:

- при $P_{ош} = 1,2 \cdot 10^{-2}$ целесообразно использовать двоичные свёрточные коды;
- при $P_{ош} < 10^{-4}$ существует группа двоичных блочных кодов (32,6,16), (127,64,21), (255,123,39), которые обеспечивают более высокую помехозащищённость по сравнению со свёрточными кодами.

Заключение

1. Введён показатель помехозащищённости системы радиосвязи, который, в отличие от известных, учитывает скорость кодирования данных и статистические характеристики декодирования кодов и позволяет определить вероятность доведения сообщения до получателя.

Таблица 2

Помехозащищённость кода (32,6,16) при $N=120$ двоичных символов

Параметры блочных кодов $(n, k, d_{\min})$	Вероятность P_o	Вероятность P_b	Вероятность $P_{ош} = 1 - P_{дов}$	Помехозащищённость v , дБ
(32,6,16)	0,08054	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-18,21
	0,0428489	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-20,951
	0,023451	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-23,568

Таблица 3

Помехозащищённость свёрточных кодов

Параметры свёрточных кодов (r_q, K, d_f)	Вероятность P_o	Вероятность P_b	Вероятность $P_{ош} = 1 - P_{дов}$	Помехозащищённость v , дБ
$r_q = 1/2; K=9; d_f=12;$ $n_0=34; n_{\Sigma}=256$	0,08054	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-18,391
	0,0428489	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-21,991
	0,023451	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-25,441
$r_q = 1/2; K=5; d_f=7;$ $n_0=18; n_{\Sigma}=248$	0,0211349	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-19,903
	0,00630957	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-25,153
	0,00197242	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-30,203
$r_q = 1/3; K=7; d_f=15;$ $n_0=39; n_{\Sigma}=378$	0,0489779	10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-18,03
	0,0251189	10^{-6}	$1,2 \cdot 10^{-4}$	-20,983
	0,0136458	10^{-8}	$1,2 \cdot 10^{-6}$	-23,633

2. Среди группы известных блочных двоичных корректирующих кодов определен код, который позволяет обеспечить наибольшую помехозащищенность при заданных требованиях на вероятность доведения сообщения.

3. Установлено, что при вероятности ошибочного доведения $P_{\text{ош}} \geq 1,2 \cdot 10^{-2}$ ($P_{\text{дов}} \leq 0,9$) целесообразно использовать двоичные свёрточные коды, при $P_{\text{ош}} < 10^{-4}$ ($P_{\text{дов}} > 0,9999$) существует группа двоичных блочных кодов (32,6,16), (127,64,21), (255,123,39), которые обеспечивают более высокую помехозащищенность по сравнению со свёрточными кодами.

Литература

1. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е.,

Шитопалов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией ПСП. М.: «РадиоСофт», 2011. 548 с.

2. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. и др. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 264 с.

3. Склар Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд: пер с англ. М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2017. 1100 с.

4. Зеленевский Ю.В. Методы информационно-статистического анализа и алгебраического синтеза в конечном поле корректирующих кодов систем телекоммуникаций повышенной помехозащищенности с широкополосным доступом / Дисс. на соиск. ... докт. тех. наук. Серпухов, МОУ ИИФ, 2014. 325 с.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 623.9

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ FEATURES OF CONSTRUCTING BLOCK DIAGRAMS OF SPECTRAL-ZONAL OPTICAL-ELECTRONIC MEANS

Владимир Леонидович Захаров

доктор военных наук, профессор
действительный член АВН
профессор кафедры
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7 (905) 566-17-94
E-mail: varahas@yandex.ru

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 Института
АНО «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: dv_smr@iifmail.ru

Рафаэль Рамисович Казаков

кандидат технических наук
заместитель начальника кафедры
«Тактики частей и подразделений
ракетно-космической обороны»
ВКА им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7 (911) 223-59-67
E-mail: xoxlov1984@bk.ru

Александр Константинович Ключкин

адъюнкт кафедры «Бортовых информационных и
измерительных комплексов космических
аппаратов»
ВКА имени А.Ф.Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: +7 (908) 836-62-51
E-mail: anyska1996@mail.ru

Аннотация

Представлены основные структурные схемы и оптические схемы спектрально-зонных оптико-электронных средств. Определены основные достоинства и недостатки предложенных схем, рассмотрен принцип их работы и способы реализации в современных условиях.

Ключевые слова: оптико-электронные средства, анализируемый космический аппарат, космический аппарат-инспектор, оптическая система, приемник оптического излучения, сканирующий элемент, спектрально-энергетические селективные признаки.

Summary

The main structural schemes and optical schemes of spectral-zonal optical-electronic means are presented. The main advantages and disadvantages of the proposed schemes are determined, the principle of their operation and methods of implementation in modern conditions are considered.

Keywords: optical-electronic means, analyzed spacecraft, spacecraft-inspector, optical system, optical radiation receiver, scanning element, spectral-energy selective features.

Введение

До недавнего времени в проблематике, связанной с разработкой космических средств, космических аппаратов противника рассматривались, в основном, пассивные объекты, что позволяло постулировать неизменность оперативно-тактической обстановки в космосе на период перехвата анализируемого космического аппарата (АКА) и, тем самым, искусственно завышать показатели качества функционирования космического аппарат-инспектора (КАИ). На сегодняшний день в связи с активизацией работ

по созданию бортовых комплексов защиты КА, предназначенных для снижения эффективности воздействия оружия противника на КА, такое допущение является вряд ли правомерным. Одним из основных элементов комплексов защиты, обеспечивающих высокую вероятность сохранения АКА, являются искусственно организованные помехи - ложные цели, размещаемые в окрестности АКА и имеющие близкие с ним параметры орбитального движения и излучательные (отражательные) характеристики, что требует разработки и создания соответствую-

ющих схем построения спектрозональных ОЭС, позволяющих с заданной вероятностью селективировать (выделять) АКА на фоне ложных целей и других космических объектов.

Структурные схемы спектрозональных ОЭС

Конструктивно спектрозональные оптико-электронные средства (ОЭС) селекции НКА могут строиться по двум различным схемам [1]. На *рисунке 1а* представлена схема многоканального ОЭС, основной особенностью которой является наличие нескольких (p) оптических каналов. В каждом оптическом канале предусмотрена своя оптическая система (ОС), пропускающая излучение от наблюдаемых объектов только в определенном спектральном диапазоне, а также свой приемник оптического излучения (ПОИ), чувствительный в этом же спектральном диапазоне. Такое схемное решение обусловлено необходимостью согласования работы оптической системы и ПОИ по длине волны в каждом оптическом канале, а также для обеспечения идентичных обнаружительных характеристик измерительных каналов (в данном случае элементы каждого измерительного канала совпадают с элементами соответствующего оптического канала), обеспечивающих одновременное обнаружение НКА всеми ПОИ. По существу, при таком схемном исполнении имеет место параллельное использование нескольких отдельных ОЭС, имеющих общий блок расчета признаков (БРП) и блок принятия решений (БПР).

В качестве признаков селекции в таких ОЭС предполагается использовать результаты прямых

спектрофотометрических измерений в отдельных каналах, преобразованные в цифровой код.

Полученные случайные векторы измерений $\hat{X}_{(p)}^j$ направляются в БПР, где на основании результатов их сравнения (в простейшем случае) с вектором эталонных описаний НКА $A_{(p)}$ принимается решение о принадлежности одного из M наблюдаемых объектов к классу «наблюдение».

Вторая структурная схема, изображенная на *рисунке 1б*, определяет одноканальное ОЭС, основным отличием которого от рассмотренного выше является использование одной ОС, что позволяет существенно снизить массово-габаритные показатели ОЭС при большом числе измерительных каналов (в данном случае ОС является общей для всех измерительных каналов) [2]. Однако в этом случае для приведения изображений объектов и плоскостям различных приемников излучения необходимо наличие дополнительного сканирующего (или светоделительного) элемента (СЭ). Проблемы, связанные с технической реализацией подобной структуры, сводятся к выбору оптической системы с заданной характеристикой пропускания оптического излучения, а также к синхронизации работы СЭ с последовательным опросом отдельных ПОИ и обеспечению идентичности электронных трактов.

Оптические схемы спектрозональных ОЭС

На *рисунке 2* изображена оптическая схема одноканального ОЭС со сканирующим элементом, где:

- 1 – зеркальный объектив, собранный по схеме Кассегрена [2];
- 2 – сканирующий элемент;

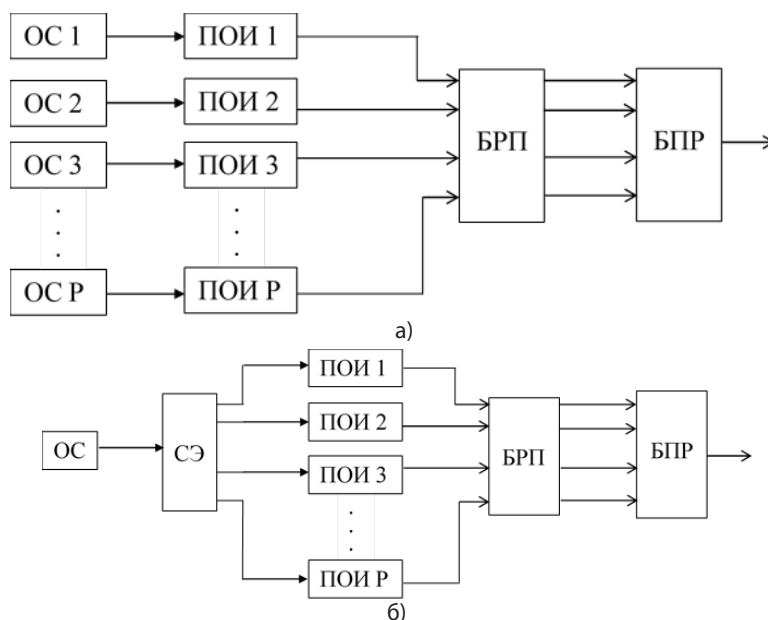


Рис. 1. Структурные схемы многоканальных (а) и одноканальных (б) спектрозональных ОЭС

- 3 – шаговый двигатель;
- 4 – ПОИ, чувствительные в различных спектральных диапазонах;
- 5 – блок электроники;
- 6 – система криостатирования.

Схема, представленная на *рисунке 2*, позволяет путем последовательного опроса ПОИ получать векторы измерений $\hat{X}_{(p)}^j$ достаточно высокой размерности, однако существующие сложности с построением систем охлаждения, способных отводить тепло от столь больших площадей, наличие движущихся оптических элементов, а также разнесенность во времени измерений отдельных элементов векторов $\hat{X}_{(p)}^j$, ограничивают возможность использования ОЭС такого конструктивного исполнения.

На *рисунке 3* изображена оптическая схемы одноканального ОЭС светоделительным элементом, где:

- 1 – зеркальный объектив, собранный по схеме Кассегрена [2];
- 2 – светоделительный элемент;
- 3 – ПОИ, чувствительные в различных спектральных диапазонах;
- 4 – блок электроники;
- 5 – система криостатирования.

Более простые и надежные ОЭС со светоделительным элементом (*рисунк 3*), к сожалению, имеют существенные ограничения по числу измерительных каналов ($p = 2 \div 3$), что также не позволяет в полной мере использовать подученные спектрально-энергетические селективные признаки (СЭСП) для селекции НКА [2].

Не страдает большинством перечисленных недостатков ОЭС, построенное по гибридной схеме, в которой присутствуют и светоделительный и сканирующий элемент. Основной посылкой, служащей для возможной реализации подобных ОЭС, является достаточность прецизионного измерения координат изображений объектов только одним ПОИ (далее он будет называться основным), например, в видимом или ИК-диапазоне. Остальные $(p-1)$ ПОИ мо-

гут состоять только из отдельных ПЗС-линеек, служащих не столько для измерения одной из координат изображений объектов, сколько для отождествления объектов в поле зрения основного ПОИ и объектов, изображения которых проецируются на линейки.

На *рисунке 4а* представлена оптическая схема гибридного одноканального ОЭС, где:

- 1 – объектив;
- 2 – светоделительный элемент;
- 3 – сканирующий элемент;
- 4 – шаговый двигатель;
- 5 – основной (матричный) ПОИ;
- 6 – дополнительные (линейные) ПОИ;
- 7 – система криостатирования;
- 8 – блок электроники.

В качестве пояснения на *рисунке 4б* изображен основной (5) и дополнительные (6) ПОИ.

Измерение СЭСП наблюдаемых точечных объектов осуществляется данным ОЭС следующим образом. На первом этапе цикла измерения производится условная нумерация изображений объектов в плоскости основного ПОИ [3], а также прецизионное измерение их координат ПОИ.

Таким образом, за одно сканирование может быть получено p кадров изображения, каждый из которых снят с линейного ПОИ, чувствительного в некотором диапазоне длин волн. Причем в одном из кадров, соответствующем основному ПОИ, координаты объектов измерены с высокой точностью, что обеспечивает параллельное использование баллистических (или геометрических) признаков совместно с СЭСП, измеряемых в процессе сканирования изображений объектов поперек дополнительных ПОИ.

Полученный вектор признаков j -го объекта $\hat{X}_{(p)}^j$ представляет собой совокупность измерений амплитуды его видеосигнала в каждом L -ом спектральном диапазоне. То есть L -й элемент вектора $\hat{X}_{(p)}^j$ определяется следующим образом

$$\hat{x}_i^j = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot \hat{R}_{\text{ц}}^2} \cdot \int_0^\infty S_{\text{АБС}}^i(\lambda) \cdot \hat{I}^j(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (1)$$

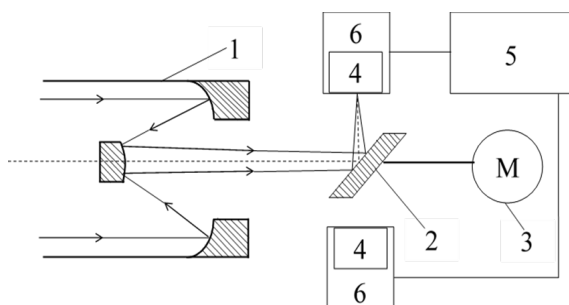


Рис. 2. Оптическая схемы одноканального ОЭС со сканирующим элементом

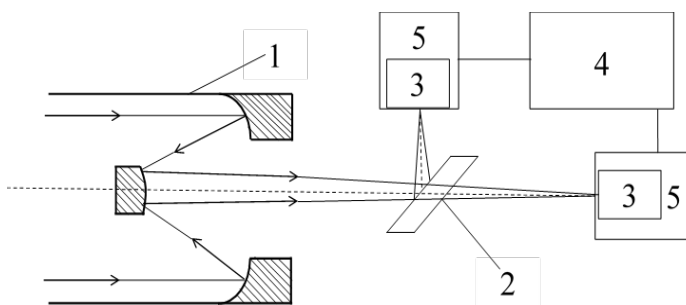


Рис. 3. Оптическая схема одноканального ОЭС со светоделительным элементом

где D – диаметр входного зрачка ОЭС;

$R_{\text{ц}}$ – дальность до НКА,

$S_{\text{АБС}}^i(\lambda)$ – абсолютная спектральная чувствительность ПОИ в i -ом измерительном канале,

$\hat{I}^j(\lambda)$ – спектральная сила излучения j -го точечного источника излучения.

После ограничения i -го спектрального диапазона длинами $\lambda_{i1}, \lambda_{i2}$ и замены абсолютной спектральной чувствительности $S_{\text{АБС}}^i(\lambda)$ на относительную $S^i(\lambda)$

$$S_{\text{АБС}}^i(\lambda) = S_{\text{МАХ}}^i \cdot S^i(\lambda), \quad (2)$$

где $S_{\text{МАХ}}^i$ – максимальное значение спектральной чувствительности L -го ПОИ, выражение (1) представлено в виде

$$\hat{x}_i^j = \hat{c}_i \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} S^i(\lambda) \cdot \hat{I}^j(\lambda) \cdot d\lambda \quad (3)$$

где $\hat{c}_i$ – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность чувствительности.

В силу того, что наиболее известная модель однозначно определяет зависимость кривой от границ диапазона, существует единственное исчерпывающее описание ОЭС парой

$$U_{(2)} = \langle C_{(p)}, \Lambda_{[p,2]} \rangle, \quad (4)$$

где $C_{(p)}$ – p -мерный вектор коэффициентов преобразования, определяемый особенностями конструктивного исполнения ОЭС,

$\Lambda_{[p,2]}$ – матрица разбиения шкалы электромагнитных волн на спектральные диапазоны.

В силу того, что при принятии решения по селекции первостепенное значение имеет не амплитуда видеосигнала (величина признака) (3), а отношение сигнал-шум в измерительном канале, коэффициент пропорциональности c_i имеет более сложное представление и содержит ряд дополнительных параметров, влияющих на качество селекции.

Задание множества допустимых параметров ОЭС $\{U_{(2)}^d\}$ позволяет решать оптимизационную

задачу поиска значений $U_{(2)}^{\text{опт}}$, максимизирующих некоторый показатель качества функционирования ОЭС. Следовательно, следующим важным этапом, предшествующим непосредственной постановке задачи исследований, является обоснование показателя качества функционирования ОЭС.

Заключение

Рассмотрены структурные схемы одноканальной и многоканальной ОЭС, а также их возможные аппаратные реализации. В результате критического анализа различных схем построения одноканальных ОЭС сделан вывод о целесообразности использования гибридной схемы, позволяющей избежать ряда конструктивных трудностей. Введено формализованное описание ОЭС позволяющее использовать их для проектирования перспективных и модернизации существующих схем спектрозональных ОЭС при проектировании КАИ.

Литература

1. Лучко С.В. Информационные оптико-электронные средства космических аппаратов: учебное пособие / С.В. Лучко, И.А. Трофимов, А.А. Ядренкин. СПб, 2015. С. 51.
2. Казаков Р.Р. Прикладная оптика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.Р. Казаков, Д.Л. Колыгин, И.А. Трофимов. Электрон. текстовые дан. (34.3 Мб). СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2021. – 1 электрон, опт. диск (CD-ROM).
3. Казаков Р.Р., Мингалиев Э.Р. Анализ влияния космического мусора на безопасность космических полетов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России, 2015. №3(127). С.77-87.

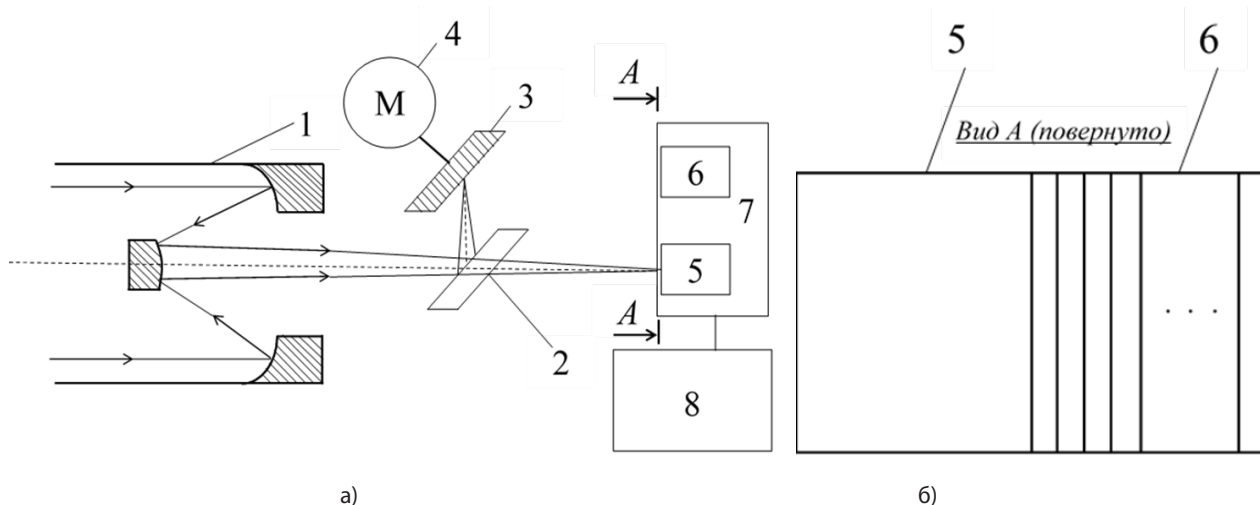


Рис. 4. Оптическая схема гибридного ОЭС (а) и вид основного и дополнительного ПОИ (б)

ВЕРБАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА VERBAL MODEL OF THE FORMATION OF A SINGLE GEOINFORMATION SPACE

Георгий Константинович Осипов

доктор технических наук, профессор
профессор кафедры картографии
ВКА им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: 8 (812) 347-96-17
E-mail: vka@mil.ru

Иван Владимирович Чернов

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры картографии
ВКА им. А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: 8 (812) 347-96-17
E-mail: vka@mil.ru

Сергей Прокофьевич Присяжнюк

доктор технических наук, профессор
генеральный директор
ЗАО «Институт телекоммуникаций»
Адрес: 194100, Санкт-Петербург,
ул. Кантемировская, д. 5
Тел.: +7 (812) 740-77-07
E-mail: office@itain.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальному вопросу геоинформационного обеспечения формированию единого геоинформационного пространства. Определена сущность геоинформационного обеспечения органов управления территориями и приведена его обобщенная функциональная модель. Для устранения несогласованности уточнены формулировки основных терминов предметной области. Раскрыта структура комплекса геоинформационного обеспечения и определена его основная функция.

Ключевые слова: единое геоинформационное пространство, геоданные принципы, термины.

Summary

The article is devoted to the topical issue of geoinformation support for the formation of a single geoinformation space. The essence of geoinformation support of territorial authorities is determined and its generalized functional model is given. To eliminate the inconsistency, the formulations of the main terms of the subject area have been clarified. The structure of the geoinformation support complex is disclosed and its main function is determined.

Keywords: unified geoinformation space, geodata principles, terms.

Введение

Одной из ключевых задач геоинформационного обеспечения (ГИО) является формирование единого геоинформационного пространства (ЕГИП), для решения которой, авторами была создана его вербальная (описательная) модель. Она позволила:

- сформировать массив исходных данных для структурирования и формализации знаний о ЕГИП;
- уточнить систему понятий, применяемых в области формирования ЕГИП;
- определить направления процесса пополнения знаний о ЕГИП;
- установить характер неопределенностей, с которыми придется столкнуться при построении

формальной модели ЕГИП;

- найти базовые закономерности и аналогии в смежных отраслях науки, которые могут быть использованы при формировании ЕГИП.

Управление территориями неразрывно связано с комплексным использованием данных об окружающей географической среде (геосфере) – геоданных (ГД), которые, получая привязку в единой координатно-временной системе отсчёта, становятся геопространственными данными (ГПД). После обработки ГПД преобразуются в координированную геопространственную информацию (ГПИ), характеризующую географические предметы, представленную в цифровой компьютерно-воспринимаемой форме и предназначенную в качестве исходного материала для

моделирования геопространства в интересах конкретного потребителя. При этом под географическим предметом геопространства понимается элемент географического объекта, обладающий главными, наиболее существенными, с точки зрения решаемой пространственной задачи, свойствами. Например, при характеристике пространственного объекта – лесной массив в интересах лесотаксации в его пределах будут очерчены географические предметы: квартальная сеть и выдела, которые различаются по бонитету, запасам древесины и другим признакам [10].

На основе ГПИ создаются информационные координированные компьютерные модели геопространства (ГИМ), представляющие собой совокупность однородных пространственных объектов. Следовательно, если ГПИ является упорядоченной информацией о пространственных предметах, то ГИМ является совокупность их моделей, формирующих однородные пространственные объекты.

Геометрические образы однородных пространственных объектов увязываются в единый геометрический образ геоинформационного пространства (ГИП).

Полученные таким образом ГИМ в дальнейшем могут быть неоднократно преобразованы, т.е. использованы как исходные данные для создания новых ГИМ. Эти преобразования могут происходить до момента принятия на их основе управленческого решения.

В настоящее время управление территориями осуществляется с использованием геоинформационных систем (ГИС) представляющих собой организованный набор цифровых ГПД и программно-аппаратных средств, позволяющих вводить, хранить, анализировать, обрабатывать (моделировать) эти данные и представлять результаты обработки в виде электронных карт различных масштабов и различного тематического содержания.

В результате активного внедрения в практику управления территориями ГИС сформировалось новое направление его информационного обеспечения – геоинформационное. Данное направление представляет собой новый, активно развивающийся вид деятельности по удовлетворению потребностей общества в ГПИ при решении управленческих, научных, технических, производственных и других задач в пределах определенной части географического пространства (территории), путем ее сбора, интеграции (комплексирования), моделирования, пространственного анализа, подготовки пространственных решений с использованием ГИС и её распространения [2].

Появление геоинформационного обеспечения (ГИО) требует разработки единых теоретических основ и обоснования направлений его дальнейшего развития.

В статьях «Концепция ГИО» [3], «Комплекс ГИО» и «Сущность понятия ЕГИП и принципы его формирования» [4] предлагаются содержание и направление развития ГИО как единого комплекса. Данная публикация является их логическим продолжением и посвящена описанию обобщенной функциональной модели комплекса ГИО.

Сущность единого геоинформационного пространства и принципы его формирования

В России работы по обоснованию и основам построения единого геоинформационного пространства (ЕГИП) в его современном теоретическом представлении начали активно развиваться с начала XXI века [10]. Несмотря на то, что данному вопросу посвящено значительное количество работ в настоящее время еще не сложились терминологический аппарат и не определились основные понятия этой области знаний.

Исходя из существующих представлений, основой для формирования ЕГИП являются географическое и информационное пространства, поэтому прежде чем раскрыть сущность ЕГИП определимся с их понятиями.

Географическое пространство (геопространство) – географическая оболочка Земли, включающая в себя: литосферу (твердая оболочка до границы Мохоровичича расположенной от 5 км под океанами до 70 км под горно-складчатыми поясами), гидросферу (вся водная оболочка), антропосферу (часть географической оболочки, созданной или модифицированной человеком), биосферу (часть географической оболочки, заселённая живыми организмами), атмосферу (газовая оболочка до линии Кармана, являющейся границей между атмосферой и космосом – около 100 км) и околоземное космическое пространство в пределах которого физические поля Земли оказывают значимое воздействие на деятельность Человека (от линии Кармана до геостационарных орбит космических летательных аппаратов – около 36000 км). Здесь совершаются орбитальные полеты космических кораблей, находятся основные орбиты искусственных спутников Земли, созданы и функционируют системы космической связи, навигации и разведки природных ресурсов Земли [1-4].

Информационное пространство – пространство, в пределах которого создается, перемещается и потребляется информация. Оно состоит из совокупности территориально объединенных

между собой и пользователями информационно-телекоммуникационных средств, с возможностью единого геопортального доступа к ним в масштабе времени, близком к реальному и предназначенных для использования в автоматизированных системах управления при решении пространственных задач и выработки пространственных решений. [5].

Из работы [6] следует, что существует два подхода к рассмотрению понятия информационное пространство (ИП) – гуманитарный и технический.

В гуманитарном подходе – объектами ИП являются знания и информация, формирующиеся и постоянно изменяющиеся в процессе эволюции общества.

В техническом подходе – объектами ИП являются информационные ресурсы, средства информационного взаимодействия и информационная инфраструктура. Он представляет собой совокупность знаний, о материально-технических изменениях, происходящих в области передачи, обработки и хранения информации с использованием технических средств и других ресурсов.

Информационному пространству в этом случае свойственна привязанность к каналам распространения данных и как следствие четкая ограниченность [7].

В рамках данной публикации ИП рассматривается нами с точки зрения технического подхода.

В виду того, что ИП связывает множество производителей и потребителей информации возникает необходимость обеспечения единства его восприятия.

В [8] приводится определение единого информационного пространства (ЕИ), которое рассматривается как совокупность баз и банков данных, технологий их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие пользователей, а также удовлетворение их информационных потребностей. Оно включает в себя:

- нормативно-техническую и технологическую документации (нормативные и правовые документы, регламенты доступа и использования информации, методическое обеспечение, технологии, наставления, стандарты, классификаторы и др.);
- средства информационного взаимодействия (совокупность общесистемных программных и технических средств, обеспечивающих реализацию информационных процессов);
- информационную инфраструктуру (сово-

купность информационных центров, подсистем, банков данных и знаний, систем связи, центров управления, аппаратно-программных средств и технологий обеспечения сбора, хранения, обработки и передачи информации) [4].

Близким по содержанию является определение ЕИП, данное в публикации [9].

Единое геоинформационное пространство (ЕГИП) – система взаимосвязанных геоинформационных моделей географического пространства, созданных с использованием комплексов геоинформационного обеспечения (ГИО) на определенный период времени в компьютерновоспринимаемой форме по единым принципам и правилам в единой системе координат, на основе формализованных ГПД и частных представлений о географическом пространстве, хранящихся в территориально объединенных между собой и пользователями информационно-телекоммуникационных средствах, с возможностью единого геопортального доступа пользователей к ним в масштабе времени, близком к реальному и предназначенных для использования в автоматизированных системах управления при решении пространственных задач и выработки пространственных решений.

ЕГИП является многомерным и многоуровневым и служит источником информации и знаний об окружающем мире. Оно представляет собой комплексную информационную модель географического пространства, содержащую нужную потребителю упорядоченную ГПИ об окружающем нас мире. Каждый объект или явление ЕГИП имеют координатно-временную привязку.

Геоинформационная модель – объектно-ориентированная координированная компьютерная модель геопространства (или его части), состоящая из совокупности формирующих его географических объектов.

Комплекс ГИО – совокупность функционально взаимосвязанных систем, объединенных в одно целое для достижения его главной цели – своевременное снабжение потребителей геопространственной информацией заданного содержания и качества в требуемом объеме.

В настоящее время ЕГИП является составной частью общего информационного поля, специализирующегося в области отображения пространственных свойств окружающего нас мира, оно необходимо для информационного обеспечения всех сфер человеческой деятельности, осуществляемой в пределах географического пространства.

ЕГИП ориентировано на решение следующих задач:

- формирование геоинформационных ресурсов в виде совокупности банков данных, поддержание их в актуальном состоянии, автоматическую синхронизацию содержимого баз данных, работающих на разных серверах;

- рациональную организацию и хранение геопространственных данных (ГПД), управление ими на основе мощной геоинформационной платформы;

- эффективное решение информационно-расчетных задач;

- оперативный поиск, доступ к ГПИ и информационный обмен между пользователями и средствами единой автоматизированной системы с распределенными базами картографических данных (БКД) различных уровней, связанных между собой высокоскоростными средствами обмена данными;

- централизованное обеспечение ГПИ важнейших государственных объектов управления.

Создание, ведение (обновление) и использование ЕГИП позволяет:

- обеспечить актуальной, достоверной, точной и полной геоинформацией все виды социально-экономической и оборонной деятельности государства;

- моделировать и прогнозировать последствия принимаемых управленческих решений;

- создать единый информационный продукт путем интеграции многочисленных информационных массивов.

Основными функциями, выполняемыми ЕГИП, являются:

- накопление и хранение базовой геоинформации о Земле (включая разные сегменты природной среды и разные отрасли человеческой деятельности), «привязанной» к единой координатной основе и представленной в стандартизированном виде, установленном общегосударственными соглашениями в рамках российской инфраструктуры пространственных данных (РИПД);

- осуществление непрерывного мониторинга состояния геоинформационной изученности территории для обновления баз данных.

Создание ЕГИП целесообразно вести одновременно по нескольким масштабным уровням, сегментам природной среды и отраслям деятельности на Земле.

В ЕГИП собираются, накапливаются и хранятся два массива геоинформации – базовый, непрерывно обновляемый и поддерживаемый в актуальном состоянии и дополнительный, отражающий пространственные свойства местности и/или ее отдельных пространственных объектов на определенный момент времени.

Вся информация ЕГИП размещается во взаимосвязанных объектно-ориентированных базах данных, распределенных по территориально-тематическим признакам с подразделением на базовую и дополнительную части. Каждый пространственный объект в базах данных отображается всей совокупностью разномасштабной геоинформации и сопровождается стандартной метайнформацией.

Поступающая в ЕГИП базовая геоинформация и сопровождающая ее метайнформация должны подвергаться входному контролю, тестированию, анализу, оценке пригодности для использования в ЕГИП.

Алгоритмы обработки геоинформации в процессе использования в ЕГИП должны обеспечить поиск и выборку требуемой геоинформации, преобразование выделенной геоинформации к виду, заданному условиями запроса. В ходе создания и функционирования ЕГИП должен осуществляться мониторинг состояния геоинформационной изученности территории.

К основным принципам формирования ЕГИП относятся:

Принцип системности. Все геоинформационные ресурсы, интегрированные в ЕГИП, должны быть взаимосвязаны и функционировать для достижения общей цели;

Принцип интеграции информации. Все подсистемы ЕГИП должны создаваться в рамках единой системы, при этом существующие системы должны быть интегрированы в создаваемую ЕГИП, в том случае если это невозможно они должны перерабатываться с сохранением геоданных. Информационные ресурсы организаций-поставщиков геоинформации должны интегрироваться в ЕГИП с возможностью оперативного обмена геоданными с использованием согласованных форматов.

Принцип континуальности. Предметная область и ее информационное содержание структурируются без территориальной привязки. Должна обеспечиваться неразрывность картографической информации искусственными рамками карт.

Принцип смешанного доступа к геоинформации. Организация ЕГИП должна обеспечивать распределенный доступ к информационным ресурсам при централизованном хранении и обработке геоинформации, имеющей важное значение.

Принцип формализованности. Содержание геоданных и геомоделей должно быть формализовано.

Принцип индивидуальной ответственности. Ответственность за первичную регистрацию и учет геообъектов несут организации и ведомства,

юридически отвечающие за их сбор.

Принцип актуализации и согласованности геоинформации. Ведомственные базы геоданных должны непрерывно поддерживаться в актуальном состоянии. Должна обеспечиваться согласованность геоданных с инфраструктурой пространственных данных РФ и синхронизация ГПИ хранящихся в ведомственных базах геоданных.

Принцип доступности геоинформации. Каталоги и базы геоданных государственного картографо-геодезического фонда и других поставщиков геоинформации должны быть доступны в «онлайн» режиме.

Принцип единства математической основы. Математическая основа всех видов ГПИ должна соответствовать требованиям, установленным федеральными органами власти.

Принцип универсальности. Для всех видов геопространственных и тематических данных должна быть обеспечена универсальность структур геоданных, каталогов и библиотек условных знаков.

Принцип информационной безопасности. Должна быть обеспечена безопасность и защита геоинформации, содержащейся в ЕГИП.

Принцип интероперабельности. Должна быть обеспечена способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена.

Состав и структура единого геоинформационного пространства

Прежде чем рассматривать состав и структуру ЕГИП необходимо определить ряд его принципиальных особенностей [10]:

- ЕГИП является комплексной информационной моделью изучаемого географического пространства. Оно содержит упорядоченную информацию об изучаемом географическом пространстве в виде геоданных, геоинформации и множества его моделей, отображающих основные, нужные потребителю или множеству потребителей, пространственные предметы и их свойства;

- в отличие от объективной реальности – ЕГИП проектируется и создается человеком, т.е. его свойства в значительной мере предопределены в соответствии с решаемой задачей;

- каждый географический предмет ЕГИП координирован (даже самый мельчайший), т.е. имеет пространственные координаты и время;

- ЕГИП функционирует только в компьютерной среде (создается, сохраняется, преобразуется, обновляется и используется);

- ЕГИП предназначено для решения пространственных задач, выявления территориально распределенных закономерностей, выработки пространственных решений, в качестве основы для создания и функционирования информационных систем управления территориями и силовыми структурами.

Кроме того, ЕГИП можно использовать для создания цифровых картографических изображений различного тематического содержания.

Состав ЕГИП. В состав ЕГИП входят следующие информационные массивы: базовая геоинформация, геоинформационные модели (ГИМ) и геопространственная информация ГПИ в различных временных, тематических, детальных или иных аспектах.

Базовая геоинформация – упорядоченная координированная информация о предметах геопространства в цифровой компьютерно-воспринимаемой форме, предназначенная в качестве основы для создания ГИМ и ГПИ в интересах конкретного потребителя или множества потребителей.

Массив базовой геоинформации содержит упорядоченную по определенным правилам пространственную и непространственную информацию о совокупности отдельных пространственных предметов геопространства.

Элементарными сущностями геопространства являются единичные координатно привязанные географические предметы, содержащие взаимоувязанную атрибутивную и метаинформацию (ПГП). Они представляют собой элементы базовой геоинформации, характеризующей геопространство в целом.

Следовательно, все действия (сбор, размещение, хранение, выборка) в массиве базовой геоинформации осуществляются с множеством отдельных пространственных географических предметов. На основе базовой геоинформации создаются ГИМ.

Если массив базовой геоинформации содержит упорядоченную информацию о пространственных географических предметах, то каждая ГИМ содержит совокупность моделей этих предметов, т.е. пространственные объекты. В этом состоит их принципиальное отличие. При этом каждый пространственный объект содержит геометрический образ и атрибутивную информацию о его непространственных свойствах.

Геометрические образы отдельных пространственных объектов увязаны в единый геометрический образ геопространства, т.е. в его ГИМ.

Каждая ГИМ геопространства состоит из совокупности пространственных объектов, объединенных в тематические слои. Пространствен-

ный объект состоит из пространственной (геометрической) модели, атрибутивной информации и метайнформации, характеризующей условия получения информации и создания модели (исполнитель, время, правовые аспекты, технология и др.).

Геометрическая модель включает:

- пространственные координаты или пиксели, характеризующие местоположение объекта и занимаемое геопространство;
- топологическую информацию, характеризующую внутреннюю структуру и внешние пространственные связи объекта [10].

Для построения ГИМ базовая геоинформация может использоваться не полностью, а лишь в виде выборки некоторой части изучаемого геопространства или пространственных предметов.

Для построения контурной части моделей выбранных пространственных предметов используется пространственная геоинформация в полном объеме, а из всего объема атрибутивной информации для этих же предметов выбирается минимально необходимая.

Таким образом, используя выборки пространственной и атрибутивной информации из массива базовой геоинформации, можно создать множество первичных ГИМ. В этом случае, каждому пространственному объекту ГИМ будет соответствовать (полная или неполная) базовая геоинформация о пространственном предмете.

В результате пространственного анализа на множестве первичных ГИМ, можно получить производные ГИМ. Множество ГИМ, содержащихся в ЕГИП, включает как первичные, так и производные модели, являющиеся результатом выполненного анализа.

На основе ГИМ создается ГПИ, необходимая для восприятия человеком результатов компьютерной обработки и являющиеся, по сути своей, информационной координированной компьютерной моделью картографического изображения геопространства. При этом каждому пространственному объекту ГИМ соответствует некоторое множество элементарных цифровых картографических изображений. Картографические изображения отдельных пространственных объектов увязаны в единую ГПИ геопространства.

ГПИ состоит из совокупности цифровых описаний картографических изображений предметов геопространства (в векторной, растровой или векторно-растровой формах), а также метайнформации (включающей вспомогательное оснащение карты, т.е. содержание «зарамочного оформления»), легенды (системы использованных условных обозначений и текстовых поясне-

ний к ним), дополнительных данных (географический указатель).

Структура ЕГИП. Структура ЕГИП может строиться по иерархическому принципу «от общего к частному» с учетом территориального охвата.

В структуре ЕГИП целесообразна организация подразделов по решаемым задачам, с выделением в разделах каждого территориального уровня подраздела общегеографической основы, включающего базовую геоинформацию, ГИМ и ГПИ, задействованных для решения задач подраздела.

Каждый массив базовой геоинформации соответствующего раздела и подраздела ГИП должен включать множество ПГП, распределенных по содержанию и детальности.

Структура каждой ГИМ должна состоять из тематических слоев, в которые группируются пространственные объекты, относящиеся к одной теме (классу объектов: растительность, земельные участки и т. п.), одной мерности или форме представления.

Векторные представления пространственных объектов целесообразно реализовать в виде реляционных и/или объектно-ориентированных структур баз данных. Простые пространственные объекты включают геометрические примитивы различной мерности. На основе простых создаются составные пространственные объекты с соответствующей геометрией.

Растровые представления объектов реализуются в виде матричных структур. Векторные и растровые представления пространственных объектов образуют разные слои, а слои – группы. Слои, содержащие общегеографические объекты, составляют группу основы. Слои одной ГИМ могут различаться по территориальному охвату, тематическому содержанию, включая пространственные объекты разных свойств или объединяя пространственные объекты с одинаковыми свойствами. Векторное представление пространственных объектов может распознаваться непосредственно компьютером, растровое представление изображения территориальной совокупности объектов распознается посредством искусственного или человеческого интеллекта.

Общесистемные требования к формированию единого геоинформационного пространства

Федеральные органы исполнительной власти (ФОИВ) и силовых структур (СС), исходя из возложенных или закрепленных функций, самостоятельно определяют перечень ведомственных ПГП и их свойств по каждому уровню террито-

риального охвата (масштаба). Перечень оформляется и вводится в действие в качестве внутриведомственного нормативного документа.

Одним из важнейших требований надежного и эффективного ГИП является недопустимость перекрытий в перечнях ПГП разных ведомств, что должно обеспечиваться четким их разделением и достигаться в процессе взаимного согласования.

Разделение целесообразно осуществлять по проблемной ориентации (тематическому содержанию) и территориальному охвату, функционально связанному с масштабом.

В разных проблемных (тематических) разделах пространственные предметы (на уровне ГПИ) и пространственные объекты (на уровне ГИМ) не должны повторяться.

В ГПИ можно выделить специализированную часть, используемую внутри ФОИВ, и ГПИ широкого применения, передаваемую для использования в других ФОИВ или для решения комплексных задач. В качестве ГПИ широкого применения может использоваться как часть специализированной ГПИ, так и специально переработанной, отобранной или обобщенной. При этом ФОИВ сам определяет и присваивает уровень конфиденциальности элементам своей ГПИ. Передаваться может как непосредственно набор ПГП, так и ГИМ, ЦКМ или ЭК, сформированные по требованиям потребителя.

ФОИВ должен нести ответственность за достоверность предоставляемых ГПИ.

В ГИП ФОИВ, кроме собственных, могут использоваться ГПИ и модели, передаваемые (заимствованные) из ГИП других ФОИВ. Перечень передаваемых пространственных предметов и их свойств также должен быть четко определен и согласован. Кроме того, согласуются требования к характеристикам информации, вид ГИМ, сроки и порядок актуализации, другие условия передачи и последующего взаимодействия.

С изменением функций и задач ФОИВ перечни информации («внутренний» и «передаваемый») могут расширяться, изменяться и дополняться.

Наиболее часто востребованной для ГИП ФОИВ является топографическая информация в силу ее общегеографического характера.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать следующие общесистемные требования к ЕГИП:

- поступающая в ЕГИП базовая геоинформация и сопровождающая ее метainформация должны подвергаться входному контролю, тестированию, анализу, оценке пригодности для использования в ЕГИП;

- принятая базовая геоинформация должна пройти обработку в сочетании с уже имеющейся в ЕГИП геоинформацией и в обновленном виде сформированная геоинформация подлежит размещению в соответствующих базах данных;

- алгоритмы обработки геоинформации в процессе использования ЕГИП должны обеспечить поиск и выборку требуемой информации, преобразование выделенной информации к виду, заданному условиями запроса, масштабные преобразования с автоматической генерализацией содержания информации (от общего к частному и наоборот), проекционные преобразования под заданные условия искажений при визуализации моделей территории в виде карт, переход от двумерной к трехмерной модели территории и ее отдельных объектов (и наоборот), выделение любого пространственного объекта и получение по нему справочных данных и имеющейся мультимедийной дополнительной информации, перемещение по Земле в пространстве и во времени;

- отобранная в результате поиска базовая геоинформация и дополнительная информация могут быть скопированы и выданы потребителям для дальнейшей обработки и анализа прикладными программными средствами в соответствии с установленными для ЕГИП регламентами и соглашениями;

- в ходе создания и функционирования ЕГИП должен осуществляться мониторинг состояния географической изученности территории, анализ состояния изученности в части полноты и актуальности накопленной в ЕГИП геоинформации, определение необходимости сбора недостающей базовой геоинформации, объявление желаемой дополнительной информации для активизации деятельности отдельных организаций и лиц в рамках краудсорсинга (привлечение широкого круга специалистов на добровольных началах);

- хранение геоинформационных ресурсов в ЕГИП как совокупности баз данных должно быть организовано в едином хранилище данных, включающем оперативный и долговременный банки геопространственных данных в составе закрытого и открытого контуров, допускающих использование информации, предоставляемой средствами интернета.

Литература

1. Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <http://wikipedia.ru> (дата обращения: 15.01.2023).
2. География / Гл. ред. А.П. Горкин. (Современная иллюстрированная энциклопедия). М.: Росмэн-Пресс, 2006. 685 с.
3. Бармин И.В., Кулагин В.П., Савиных В.П.,

- Цветков В.Я. Околоземное космическое пространство как объект глобального мониторинга // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина, 2013. №4(20). С.4-9.
4. Присяжнюк С.П., Осипов Г.К. Сущность понятия «единое геоинформационное пространство» и принципы его формирования // Информатика и космос, 2022. №4. С.175-178.
5. Проскурин С.А. Геополитическое измерение глобального информационного пространства. Геополитика: Учеб. Под общ. ред. В.А. Михайлова. М.: Изд-во РАГС, 2007. 261 с.
6. Добровольская И.А. Понятие «информационное пространство»: различные подходы к его изучению и особенности // Вестник РУДН. Серия «Литературоведение. Журналистика», 2014. №4. С.140-147.
7. Ненашев А.И. Информационное пространство современного общества: коммуникационный аспект: Автореф. дисс. ... канд. филос. наук. Саратов, 2008. 32 с.
8. ГОСТ Р 70569-2022. Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 20 с.
9. Цветков В.Я. Информационное пространство как ресурс познания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. №3 (часть 2). С.207-212.
10. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография. Новосибирск: СГГА, 2004. 260 с.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДНЕГО УРОВНЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ РАДИОПОМЕХ В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MEDIAN INTERFERENCE FIELD STRENGTH LEVEL IN DIFFERENT SEASONS OF THE YEAR

Евгений Михайлович Гринёв

аспирант кафедры
«Информационная безопасность
автоматизированных систем»
Института цифрового развития
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный
университет»
Адрес: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1
E-mail: saru3d@yandex.ru

Аннотация

Известно, что в коротковолновом диапазоне волн присутствует множество радиопомех, которые снижают надежность радиосвязи. Среднее отношение сигнал-помеха на входе радиоприемника является определяющим фактором надежности радиосвязи и существенно зависит от уровня напряженности поля внешних радиопомех. При расчете надежности радиосвязи в коротковолновом диапазоне волн обычно учитывают максимальные средние значения напряженности электромагнитного поля, вызванного внешними источниками радиопомех, которые наблюдаются в летний сезон. Для достоверной оценки надежности коротковолновой радиосвязи необходимо принимать во внимание частотную зависимость среднего уровня напряженности электромагнитного поля радиопомех для всех сезонов года. В результате исследования установлено, что в осенне-весенний сезоны средний уровень напряженности электромагнитного поля радиопомех в диапазоне частот коротковолновой радиосвязи примерно одинаков и в среднем на 5 дБ меньше по сравнению с летним периодом. Это обуславливает возможность повышения надежности коротковолновой радиосвязи до 10% по сравнению с летним сезоном.

Ключевые слова: коротковолновая радиопомеха, виды радиопомех, промышленные радиопомехи, галактические радиопомехи, атмосферные радиопомехи.

Summary

It is known that there is a lot of radio interference in the short wave range, which reduces the reliability of radio communication. The average signal-to-noise ratio at the radio receiver input is a determining factor in the reliability of radio communication and significantly depends on the level of field strength of external radio. When calculating the reliability of radio communication in the short wave range, the maximum average values of the electromagnetic field intensity caused by external sources of radio interference that are observed in the summer season are usually taken into account. To reliably assess the reliability of short-wave radio communication, it is necessary to take into account the frequency dependence of the average level of electromagnetic field intensity of radio interference for all seasons of the year. As a result of the study, it was found that in the autumn - spring seasons, the average level of electromagnetic field intensity of radio interference in the frequency range of short-wave radio communication is approximately the same and on average 5 dB less compared to the summer period. This makes it possible to increase the reliability of shortwave radio communication by up to 10% compared to the summer season.

Keywords: short-wave radio line, types of radio interference, industrial radio interference, galactic radio interference, atmospheric radio interference.

Введение

Известно [1-5], что качество коротковолновой (КВ) радиосвязи оценивается ее надежностью, которая определяется как вероятность связи с достоверностью не хуже заданной.

Известно [1,2], что надежность радиосвязи $D_{св}$ определяется средним значением отношения

сигнал-помеха $\bar{Z} = (\bar{E}_с / \bar{E}_н)^2$, т.е. отношением средних значений напряженности электромагнитного поля сигнала $\bar{E}_с$ и радиопомех $\bar{E}_н$ на входе приемника. Надежность радиосвязи оценивается согласно выражению

$$D_{св} = F((\bar{Z} - Z_{дон}) / \sigma_z), \quad (1)$$

где $Z_{дон}$ – допустимое отношение сигнал-помеха

(дБ) для обеспечения требуемой достоверности (вероятности ошибки) приема сигналов;
 σ_z – среднеквадратическое отклонение отношения сигнал-помеха (дБ).

Существующие методики расчета радиопомех имеют ряд недостатков. В статье [6] и рекомендации МСЭ-R [7] аналитический расчет частотной зависимости среднеарифметического значения комплексной напряженности электромагнитного поля радиопомех E_n разных видов производится для периода с июня по август (пиковые значения E_n) и не учитываются уровни E_n отличающиеся от наибольших. В методике [2] расчета значений напряженности электромагнитного поля внешних радиопомех используются графики частотной зависимости средних значений E_n для станционных атмосферных, космических и промышленных радиопомех. При этом в указанной методике не представлена оценка среднего значения напряженности электромагнитного поля суммарных радиопомех, не учтена зависимость радиопомех для осени, зимы и весны. В учебном пособии [4] производится расчет различных видов радиопомех с помощью графического метода, что не даёт точный результат, не представлена характеристика суммарных радиопомех.

Целью статьи является сравнительный анализ частотных зависимостей уровней напряженности поля суммарных внешних радиопомех КВ диапазона в летний и осенне-весенний сезоны года.

Исследование зависимости мощности радиопомех в коротковолновом диапазоне от частоты

В КВ диапазоне необходимо в основном рассматривать три типа радиопомех, поскольку атмосферные, промышленные и галактические радиопомехи соизмеримы по напряженности и существенно больше остальных [1-4].

Промышленные радиопомехи – это электромагнитные радиопомехи, возникающие в результате деятельности промышленных предприятий и оборудования. Они могут быть вызваны различными источниками, такими как электродвигатели, сварочные аппараты, высоковольтные линии передачи электроэнергии и другие электронные устройства. Для борьбы с промышленными радиопомехами используются различные методы экранирования, фильтрации и подавления шума. В соответствии с рекомендациями МСЭ [7] промышленные радиопомехи имеют линейную зависимость, и среднее значение уровня мощности описывается выражением вида

$$F_{amp} = c - d \cdot \lg f, \text{ дБ}, \quad (2)$$

где f – частота (МГц);

c и d – константы, которые определяются в соответствии с окружающей средой. Значения c и d представлены в таблице 1.

Таблица 1
Значения c и d в соответствии с окружающей средой

Категория окружающей среды	c	d
Деловая зона	76,8	27,7
Жилые районы	72,5	27,7
Сельская местность	67,2	27,7

Стандартное отклонение $\sigma_{F_{amp}}$ от величины промышленных радиопомех вычисляется с учетом нижних и верхних показателей дециля, представленных в рекомендации МСЭ [7], и рассчитываются по формулам

$$\sigma_{F_{amp}} = D_l / 1,282, \text{ дБ}; \quad (3)$$

$$\sigma_{F_{amp}} = D_u / 1,282, \text{ дБ}, \quad (4)$$

где D_l – нижнее значение дециля;

D_u – верхнее значение дециля.

Таким образом, для частоты $f=5$ МГц в сельской местности ($c=67,2$, $d=27,7$) среднее значение уровня мощности промышленных радиопомех согласно формулы (2) равно

$$F_{amp} = 67,2 - 27,7 \lg 5 = 47,8 \text{ дБ},$$

стандартное отклонение (при $D_u=9,2$) по формуле (3)

$$\sigma_{F_{amp}} = 9,2 / 1,282 = 7,18 \text{ дБ}$$

Галактические радиопомехи – это электромагнитные помехи, которые возникают в результате излучения галактик на радиочастотах. Эти радиопомехи могут влиять на работу радиосистем и затруднять обнаружение слабых радиосигналов из космоса. Галактические радиопомехи могут быть вызваны различными физическими процессами, такими как эмиссия газа и пыли, взрывы сверхновых звезд и активных ядер галактик. В соответствии с рекомендациями МСЭ [7] среднее значение мощности галактических радиопомех в КВ диапазоне для короткого вертикальной антенны, определяется в соответствии с выражением

$$F_{amg} = 52 - 23 \lg f, \text{ дБ}, \quad (5)$$

где f – частота (МГц).

Галактические радиопомехи не проявляются на частотах ниже частоты f_2 слоя F_2 и будут минимальны, на частотах, приблизительно в три раза превышающих f_2 .

В таблице 2 отображена частота слоя F_2 , рассчитанная в соответствии с реферативной моделью IRI-2016 [8] в полночь для всех времен года.

Стандартное отклонение от величины галактических радиопомех ограничивается на значением $\sigma_{F_{amg}} = 1,56 \text{ дБ}$ [7].

Таким образом, для частоты $f=5$ МГц среднее значение уровня мощности галактических радиопомех по формуле (5) составляет

$$F_{amg} = 52 - 23 \lg 5 = 35,9 \text{ дБ}.$$

Атмосферные радиопомехи – это электромагнитные радиопомехи, которые возникают в результате взаимодействия радиоволн с различными слоями атмосферы Земли. Эти помехи могут приводить к искажению радиосигналов и затруднять их прием и передачу. Атмосферные радиопомехи могут быть вызваны различными физическими процессами, такими как ионизация атмосферы (при взаимодействии радиоволн с атомами и молекулами атмосферы происходит их ионизация), атмосферные явления, такие как молнии и грозы, рассеяние и отражение радиоволн, солнечные вспышки и корональные выбросы и геомагнитные бури, возникающие в результате изменений магнитного поля Земли.

В нижней части КВ диапазона атмосферные радиопомехи является основным источником радиопомех, особенно в ночное время, когда слой D не поглощает сигналы на КВ диапазоне, что позволяет сигналам с меньшим затуханием распространяться на очень большие расстояния в ионосфере [9].

Атмосферные радиопомехи могут колебаться в значительном диапазоне по уровню мощности F_{ama} и является одним из основных значений при расчете надежности радиосвязи. В соответствии с рекомендациями МСЭ [7] для определения уровня мощности атмосферных радиопомех используются карты мира фоновых атмосферных шумов, на которых представлены ожидаемые средние значения мощности радиопомехи на частоте $f=1$ МГц.

Например, для радиоприемника с координатами 58° с.ш. и 70° в.д. значение мощности атмосферной радиопомехи $F_{ama} \approx 60$ дБ на частоте 1 МГц.

Используя данное значение в качестве точки отсчета, можно по [7] определить среднее зна-

чение мощности атмосферных радиопомех для требуемой частоты, для весеннего времени года.

Получив значение радиопомех $F_{ama} \approx 60$ дБ для 1 МГц по картам мира фоновых атмосферных шумов, перерасчет на частоту $f=5$ МГц дает среднее значение мощности атмосферных радиопомех $F_{ama} \approx 48$ дБ [7].

Стандартное отклонение от показателя атмосферных радиопомех $\sigma_{F_{ama}}$ для требуемой частоты получают с помощью рекомендации [7]. Для частоты $f=5$ МГц стандартное отклонение от значения атмосферных радиопомех соответствует $\sigma_{F_{ama}} = 3,7$ дБ.

Приведем пример расчета значений мощности атмосферных, промышленных и галактических радиопомех на входе приемной антенны, исходя из представленных данных (таблицы 1-3).

На основании информации, представленной на картах мировых фоновых атмосферных шумов [7] и таблицах 1-3, а также в соответствии с выражениями (2),(5) на рисунках 1а-г, показаны частотные характеристики уровней различных радиопомех для разных сезонов года.

На графиках штрихпунктирной линией показан уровень мощности промышленных радиопомех F_{amp} , пунктирной – галактических радиопомех F_{amg} , сплошной – атмосферных радиопомех F_{ama} в зависимости от частоты. На рисунке 1б для наглядности на частоте $f=5$ МГц приведены значения атмосферных радиопомех $F_{ama} \approx 48$ дБ, промышленных – $F_{amp} = 47,8$ дБ и галактических – $F_{amg} = 35,9$ дБ.

По результатам анализа графиков можно утверждать, что мощность атмосферных радиопомех варьирует в зависимости от времени года, с наибольшим уровнем радиопомех летом в диапазоне от 1 до 10 МГц, когда значения составляют от 65 до 37 дБ, и наименьшим уровнем радиопомех зимой – от 55 до 27 дБ. Галактические и промышленные радиопомехи не зависят от сезона года.

Таблица 2

Частота слоя F2, рассчитанная в соответствии с реферативной моделью IRI-2016

Сезон года	Зима	Весна	Лето	Осень
Частота слоя F2 f_{F_2} , МГц	2,253	2,3	3,615	2,23

Таблица 3

Характеристики для определения уровня напряженности поля радиопомех

Местоположение радиоприемника $P_{прм}$	58° с.ш., 70° в.д.
Время исследования	00 час. 00 мин.
Категория окружающей среды	Сельская местность

Исследование частотной характеристики среднего значения напряженности электромагнитного поля радиопомех в различные сезоны года

Частотная характеристика среднего значения напряженности электромагнитного поля радиопомех $\overline{E}_n(f)$ определяется средним значением суммы атмосферных, промышленных и галактических радиопомех. В соответствии с рекомендациями МСЭ [7], для коротких вертикальных несимметричных вибраторов, работающих над идеально плоской земной поверхностью, частотная зависимость $\overline{E}_n(f)$ определяется согласно выражению

$$\overline{E}_n(f) = F_a + 20 \lg f + 10 \lg B - 95,5, \text{ дБ (мкВ/м)}, \quad (6)$$

где f – частота (МГц);

B – полоса пропускания радиоприемника (Гц);

F_a – показатель внешних радиопомех (дБ).

В соответствии с (6) и данными рисунков 1а-г, на графиках рисунков 2а-б представлены частот-

ные характеристики средних значений напряженности электромагнитного поля радиопомех $\overline{E}_n(f)$ в различные сезоны года для полосы пропускания $B=200$ Гц.

Анализ графиков на рисунке 2 показывает, что частотные характеристики среднего значения напряженности поля радиопомех $\overline{E}_n(f)$ в осенний зимний, весенний и периоды схожи между собой. Различные источники радиопомех в диапазоне от 1 МГц до 10 МГц создают суммарный уровень радиопомех, который изменяется от -5 дБ до -13 дБ. С увеличением частоты показатель внешних радиопомех в КВ диапазоне уменьшается.

Наиболее высокие значения радиопомех наблюдаются в летний сезон, в пределах от 1 МГц до 4 МГц принимают значения от 3 дБ до 0 дБ, а в диапазоне от 4 МГц до 10 МГц наблюдается наибольшая крутизна и составляют от 0 дБ до -8 дБ. В среднем в диапазоне 1-10 МГц средние

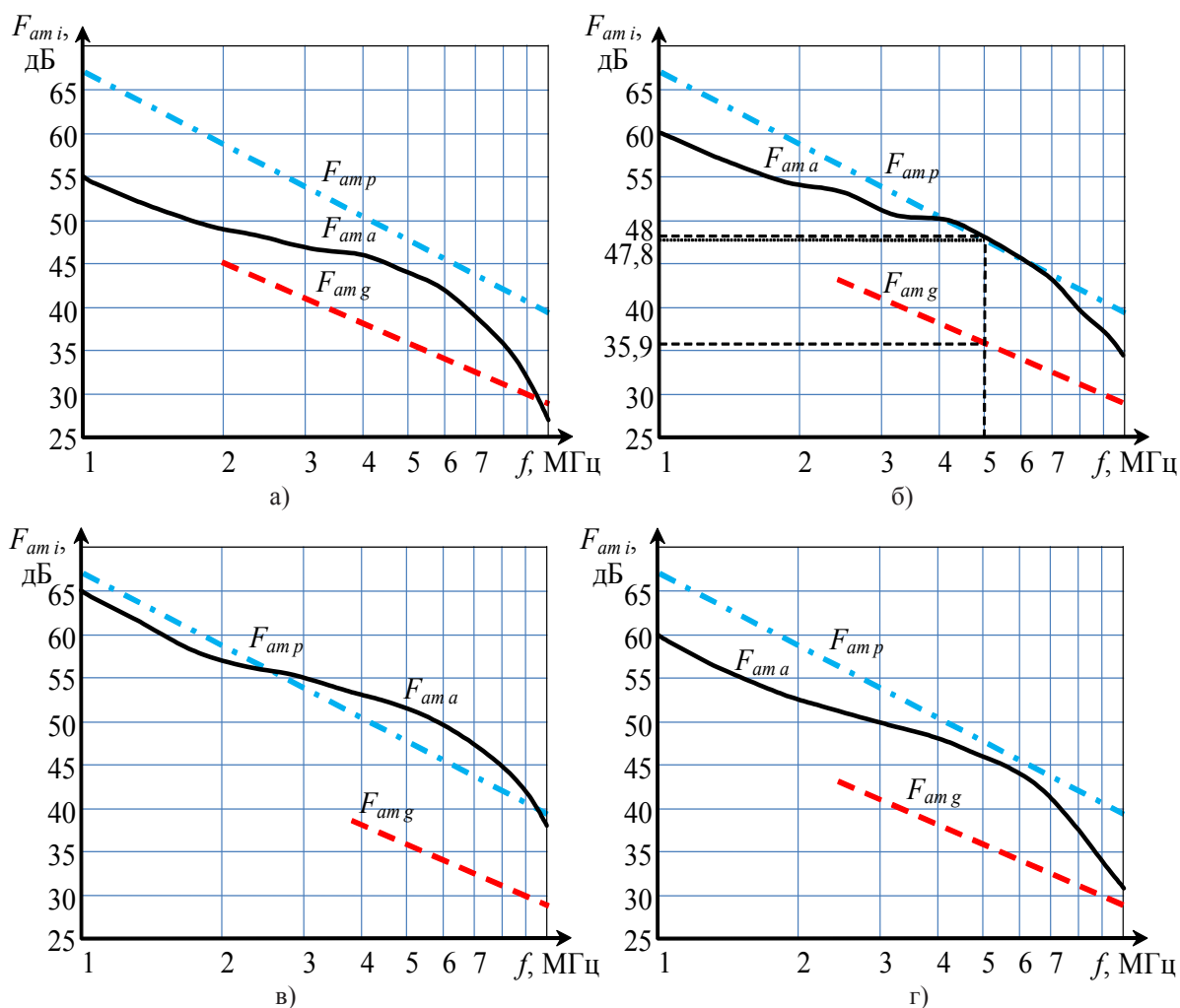


Рис. 1. Частотные характеристики уровней промышленных F_{amp} , атмосферных F_{ama} , галактических F_{amg} радиопомех в 00 час. 00 мин. для четырех сезонов года: а) зима; б) весна; в) лето; г) осень

значения уровней напряженности электромагнитного поля радиопомех $\overline{E}_n$ в летний период превосходят на 5 дБ уровни напряженностей в другие сезоны.

В качестве примера проанализируем влияние уменьшения уровня напряженности поля радиопомех $\overline{E}_n$ на 5 дБ в осенне-весенний период по сравнению с летним на надежность КВ радиосвязи на рабочей частоте $f=5$ МГц.

В соответствии с результатами методики [10] на рабочей частоте $f=5$ МГц в летний период ночью среднее отношение сигнал/помеха на входе приемника КВ радиосвязи составляет $\overline{Z} = 36$ дБ, допустимое значение отношения сигнал/помеха $Z_{доп} = 24$ дБ (при среднем уровне диффузности ионосферы $\beta_u = 2,5 \cdot 10^{-2}$) и среднеквадратическое отклонение этого отношения равно $\sigma_z = 10,5$ дБ. Поэтому согласно выражению (1) надежность КВ радиосвязи на рабочей частоте $f=5$ МГц летом составляет

$$D_{св} = F((\overline{Z} - Z_{доп}) / \sigma_z) = F((36 - 24) / 10,5) = F(1,14) = 0,85.$$

В осенне-весенний период уменьшение уровня напряженности поля радиопомех $\overline{E}_n$ на 5 дБ обуславливает увеличение среднего отношения сигнал/помеха на входе приемника с $\overline{Z} = 36$ дБ до $\overline{Z} = 41$ дБ. Это обуславливает повышение надежности КВ радиосвязи на рабочей частоте $f=5$ МГц до

$$D_{св} = F((41 - 24) / 10,5) = F(1,62) = 0,95,$$

т.е. на 10%.

Заключение

По результатам исследования уровня суммарных КВ радиопомех в зависимости от выбора рабочей частоты в различные сезоны года,

позволяет сделать следующие выводы:

1. Частотные характеристики среднего значения уровня напряженности электромагнитного поля радиопомех $\overline{E}_n(f)$ в осенний, зимний и весенний сезоны года принимают близкие значения. Максимальное отличие в напряженности электромагнитного поля радиопомех в указанные времена года составляет 1 дБ.

2. Средние значения уровней напряженности электромагнитного поля радиопомех $\overline{E}_n$ в летний период превосходят в среднем на 5 дБ уровни напряженностей в осенне-весенний сезоны года.

3. Уменьшение уровня напряженности электромагнитного поля радиопомех $\overline{E}_n$ на 5 дБ при неизменной напряженности поля сигнала $\overline{E}_с$ обуславливает возрастание надежности КВ радиосвязи $D_{св}$ до 10%.

Литература

1. Комарович В.Ф., Сосунов В.Н. Случайные помехи и надежность КВ связи. М.: Связь, 1977. 136 с.
2. Жуков В.А., Серков В.П., Филиппов В.В. Радиочастотная служба и антенные устройства. Л.: ВАС, 1989. 264 с.
3. Игнатов В.В., Килимник Ю.П., Никольский И.Н., Пивоваров В.Ф. Военные системы связи. Ч. 1. Л.: ВАС, 1989. 386 с.
4. Мешалкин В.А., Сосунов Б.В. Основы энергетического расчета радиоканалов. Л.: ВАС, 1991. 110 с.
5. Чернов Ю.А. Специальные вопросы распространения радиоволн в сетях связи и радиовещания. М.: Техносфера, 2018. 688 с.

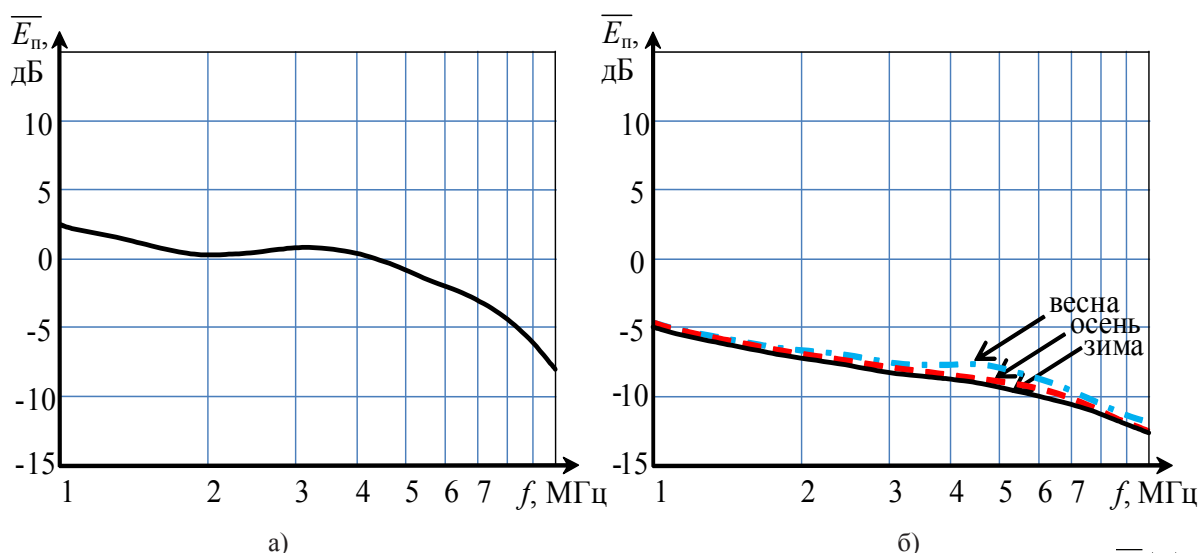


Рис. 2. Частотная характеристика среднего значения напряженности электромагнитного поля радиопомех $\overline{E}_n(f)$ в различные сезоны года: а) лето; б) осень, зима, весна.

6. Пашинцев В.П., Скорик А.Д., Коваль С.А., Киселев Д.П., Сенокосов М.А. Зависимость надежности связи в дециметровом радиодиапазоне от выбора рабочей частоты с учетом сигнально-помеховой обстановки и диффузности ионосферы // Системы управления, связи и безопасности, 2019. №4. С.300-322.
7. Рекомендации МСЭ-R Р.372-12. Радиосвязь // Международный союз электросвязи. Серия Р. Распространение радиоволн [Электронный ресурс] URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.372-12-201507-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 15.03.2023).
8. Bilitza D.D., Altadill V., Truhlik V., Shubin I., Galkin B., Huang X. International reference ionosphere 2016: From ionospheric climate to real-time weather predictions // Space Weather. 2017. Vol. 15. P. 418-429.
9. Фабрицио Джузеппе А. Высокочастотный загоризонтный радар: основополагающие принципы, обработка сигналов и практическое применение. М.: Техносфера, 2018. 936 с.
10. Пашинцев В.П., Гринев Е. М., Скорик А.Д., Белоконов Д.А. Методика определения зависимости среднеквадратического отклонения отношения сигнал/помеха в дециметровом радиодиапазоне от выбора частоты // Системы управления, связи и безопасности, 2023. №2. С.63-80.

АТАКА – МОДЕЛЬ И ПОКАЗАТЕЛИ ATTACK – MODEL AND INDICATORS

Елена Павловна Бутрина

начальник ОСПО

АНО «Институт инженерной физики»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный переулок, д. 1а

Тел.: +7 (916) 245-98-82

E-mail: kenga48@yandex.ru

Владимир Петрович Олейников

кандидат физико-математических наук, доцент

старший эксперт ОСПО

АНО «Институт инженерной физики»

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,

Большой Ударный переулок, д. 1а

Тел.: 8 (916) 576-18-39

E-mail: vpoleinikov@mail.ru

Аннотация:

Статья посвящена построению и анализу модели линейной атаки, разработке показателей атаки и их анализу. Введены понятия уровня опасности и агрессивности атаки. Выявлена особая роль финальных этапов атаки.

Ключевые слова: защищенность объекта, угроза, уязвимость, модель атаки, модель угроз.

Summary

The article is devoted to the construction and analysis of a linear attack model, the development of attack indicators and their analysis. The concepts of the level of danger and the aggressiveness of the attack are introduced. The special role of the final stages of the attack is revealed.

Keywords: object security, threat, vulnerability, attack model, threat model.

Математическая модель атаки.

Структурная функция атаки

В [2] было показано, что по мере развития атаки происходит последовательный ряд событий X_{b_m} (Нарушитель преодолел барьер b_m). Логично рассматривать как некие барьеры и появление угрозы $t \equiv b_0$, и использование уязвимости $v \equiv b_{M+1}$. Обозначим общее число этапов атаки как $N=M+2$ (M – число барьеров на пути атаки). Для упрощения записи выражений введем индекс $i=1...N$. При этом $i=1$ соответствует актуализации угрозы t , $i=m+1$ соответствует преодолению барьера m , а $i=M+2$ – использованию уязвимости v .

Тогда структурная функция [2] атаки есть логическое произведение событий X_i :

$$X_s = X_1 \cdot X_{b_1} \cdot X_{b_2} \cdot \dots \cdot X_{b_M} \cdot X_v = X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge \dots \wedge X_{N-1} \wedge X_N = \bigwedge_{i=1}^N X_i \quad (1)$$

Орграф атаки имеет вид (см. рисунок 1).

При этом опущены (как всегда присутствующие) элементы, связанные с представлением опасности и вреда. Здесь состояние S_i есть состояние защищаемого объекта (ЗО) после того, как угроза в процессе своей реализации преодолела этап i . Тем самым мы рассматриваем атаку с

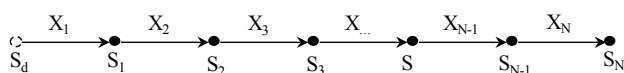


Рис. 1. Граф линейной атаки из N этапов

точки зрения ЗО (т.е., насколько приблизилась угроза), в то время как с точки зрения нарушителя важнее предстоящий этап ($i+1$) (т.е., что еще надо преодолеть для достижения успеха).

Индикаторная функция атаки

Индикаторы I_i событий $E_i = (S_{i-1}; S_i; X_i)$, $S_0 \equiv S_d$ [3] из-за наличия временной упорядоченности этих событий можно представить в виде *вектора атаки* с размерностью N :

$$\vec{I}_s = (I_1, I_{b_1}, I_{b_2}, \dots, I_{b_M}, I_v) = (I_1, I_2, \dots, I_{N-1}, I_N) = (I_i).$$

Временная упорядоченность событий X_i формально означает выполнение условия

$$\text{If } \prod_{j=1}^i I_j = 0 \text{ Then } I_{i+1} = 0,$$

проверка которого может служить для контроля такой упорядоченности. Модуль $|\vec{I}_s| = \sum_{i=1}^N I_i = i$ равен числу преодоленных этапов, поэтому его изменение по этапам позволяет количественно описать «развитие атаки» и «нарастание угрозы».

Приведем пример такого описания для атаки с $M=3$ барьерами и, соответственно, 5-ю этапами (рисунок 2).

Для состояния S_d , в котором угроза не актуализирована, все индикаторы событий атаки равны нулю. Развитие атаки как степень приближения угрозы к уязвимости показано на гистограмме в крайнем правом столбце. Модуль вектора атаки $|\vec{I}_s|$ растет линейно по i и оценива-

ет приближение угрозы. Но для различных атак число барьеров различно, поэтому измерять их развитие числом преодоленных этапов не имеет смысла. Куда удобнее использовать число оставшихся этапов $k=N+1-i$, хотя и k тоже плохо оценивает ситуацию.

Индикаторная функция [2] атаки есть произведение индикаторов событий атаки $I_s = I_t \cdot I_{b_1} \cdot I_{b_2} \cdot \dots \cdot I_{b_M} \cdot I_v = \prod_{i=1}^N I_i$ и равна нулю на всех этапах, кроме завершающего – использования уязвимости для нанесения вреда.

Вероятностная функция атаки

Для краткости обозначим условную вероятность преодоления барьера b_i как $r_i = P(X_i | X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1})$, $i=2 \dots N$, $r_1 = P(X_1)$.

Эти величины образуют *профиль атаки* – вектор $(r) = (r_1, r_2, \dots, r_N)$, показывающий зависимость значения r_i от номера этапа i .

Так как состояние S_d соответствует наличию опасности (опасный объект имеется всегда, но источника угрозы еще нет), то вероятность $r_s \equiv P(X_s)$ успешности атаки до ее начала есть *прогноз* значения вероятности успеха атаки как события X_s (опасность реализуется через все этапы – от актуализации угрозы t через преодоление всех барьеров b_i вплоть до нанесения вреда че-

рез уязвимость v). Эта вероятность есть значение *вероятностной функции (ВФ)* [2] атаки и равна

$$r_s = \prod_{i=1}^N r_i \tag{2}$$

Классификация событий по вероятности.
Мера защищенности

Защищенность ЗО можно оценить как $1-r_s$. Но если для двух ЗО r_s равны 0,01 и 0,001, то оценки их защищенностей как 0,99 и 0,999 мало отличаются друг от друга, что затрудняет их сравнение. Поэтому в качестве меры защищенности для ЗО с хорошей защитой удобно использовать величину $l_s \equiv -lg(r_s)$. Эта функция при малых значениях аргумента (рисунк 3а) «растягивает» диапазон значений в нужной области, и защищенности двух рассмотренных ЗО уже хорошо различимы – они равны 2 и 3 соответственно (рисунк 3б).

Достоинством данного определения является семантическая согласованность термина «защищенность» и значения l_s – чем больше защищенность, тем больше l_s , и наоборот. Профилю атаки соответствует *вектор защищенности*

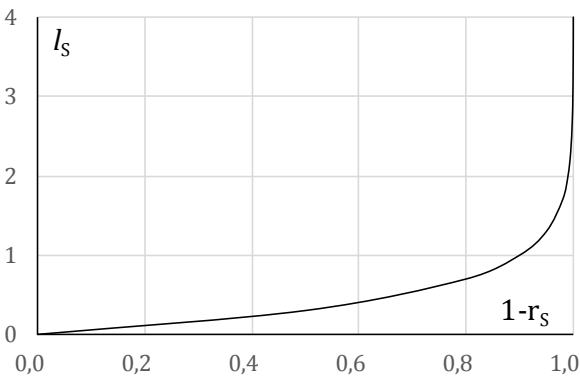
$$(l_s) = (l_1, l_2, \dots, l_N), \quad l_i = -lg(r_i).$$

Уровни вероятности

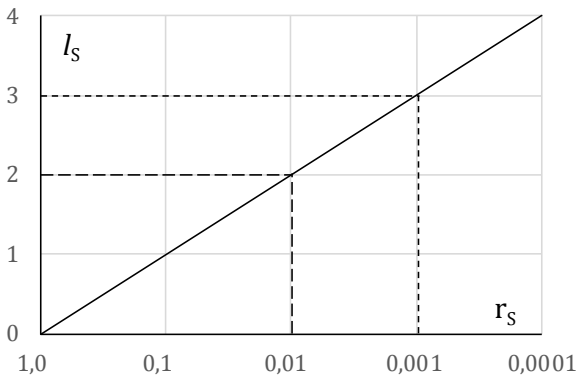
Для оценки вероятности реализации события введем *уровень значимости α* как такое значе-

Состояние	Барьер b_m	Индикаторы события X_i					Развитие атаки		
Присутствует опасность d	Обозн.	i	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I	k
			0	0	0	0	0		
Актуальна угроза t	$t=b_0$	1	1	0	0	0	0	0	4
Преодолен барьер b_1	b_1	2	1	1	0	0	0	0	3
Преодолен барьер b_2	b_2	3	1	1	1	0	0	0	2
Преодолен барьер b_3	b_3	4	1	1	1	1	0	0	1
Нанесен вред через v	$v=b_{3+1}$	5	1	1	1	1	1	1	0

Рис. 2. Развитие атаки как продвижение угрозы t к уязвимости v ($N=5$)



а) $l_s = l(r_s)$



б) логарифмическая шкала

Рис. 3. Защищенность как функция значения ВФ атаки

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ние вероятности реализации события, при котором оно полагается маловероятным (то есть, им можно пренебречь). В нормативных документах по безопасности уровень значимости колеблется в пределах 0,1...0,6 со средним ~0,2. Примем для определенности $\alpha=0,2$. Отметим, что в научных исследованиях стандартными уровнями значимости являются 0,1; 0,05; 0,01; 0,001.

Но встречаются и такие вероятности реализации события, которые можно полагать *пренебрежимо малыми* (см. криптографию). Обозначим верхнюю границу таких вероятностей p_n (*negligible probability*). Действительно, вероятности двух событий могут отличаться в миллион раз (например, 10^{-4} и 10^{-10}), но оба эти события практически одинаково маловероятны, поскольку возможностью реализации любого из них (в однократном эксперименте) мы пренебрегаем. Обычно выбирают $p_n = 10^{-n}$, $n \geq 2$. Мы в большинстве случаев будем полагать $n=3$.

Получаем три диапазона вероятностей, характеристики которых приведены в *таблице 1*.

Цветовая маркировка аналогична системе уровней террористической угрозы. Термины для обозначения событий весьма условны и могут быть заменены на более адекватные с точки зрения конкретного исследователя. Мы будем применять эту классификацию ко всем вероятностям, когда это имеет смысл.

Поскольку величины p_n и α различаются на порядки, то изобразить их вместе можно только на логарифмической шкале (*рисунок 4*):



Рис. 4. Зоны уровней вероятности событий (числа под осью – конкретные значения для принятых α и n)

При необходимости сюда можно добавить и другие уровни опасности с соответствующими числовыми значениями. Пользуясь принятыми в статистике критическими значениями, получим более адекватные уровни опасности (*таблица 2*).

Отметим, что значение $\alpha=0,001$ используется в ответственных научных исследованиях, проводимых на выборках значительного объема, а значение $\alpha=0,1$ – в пилотных исследованиях, предназначенных для предварительного обнаружения закономерностей.

Анализ нормативных документов показывает, что в области защиты выделяются разные диапазоны вероятностей, причем их границы устанавливаются субъективно. Предложенный подход дает более весомые основания для выделения уровней опасности, при которых уровни значимости событий совпадают с крайними среди принятых в научной практике. Целочисленность граничных значений l_s хоть и не принципиальна, но все же является дополнительным удобством.

Показатели атаки.

Профиль атаки

Основной характеристикой атаки, определяющей все остальные свойства, является ее *профиль* (и соответствующий вектор защищенности). На основе профиля строится интегральный показатель атаки – ее ВФ (2) и эквивалентный показатель

$$l_s = \prod_{i=1}^N l_i.$$

В качестве показателя «среднего поведения» атаки можно использовать среднегеометрическое компонент вектора атаки

$$r^* = \left(\prod_{i=1}^N r_i \right)^{1/N} = \sqrt[N]{r_s}$$

и среднеарифметическое компонент защищенности

$$l^* = \sum_{i=1}^N l_i / N = l_s / N.$$

Таблица 1

Уровни вероятности r событий и защищенность l

Уровень опасности	Событие	r_s	l_s	Что делать	Зона	Цвет
низкий	маловероятное	$r_s < p_n$	$l_s \geq n$	пренебречь	С	зеленый
средний	малозначимое	$p_n \leq r_s < \alpha$	$m^{(*)} < l_s < n$	иметь в виду	В	желтый
высокий	опасное	$\alpha \leq r_s \leq 1$	$0 < l_s \leq m$	принять меры	А	красный

(*) $m \equiv -lg(\alpha)$.

Таблица 2

Уровни опасности атаки (вариант 2)

Уровень	Атака	r_s	l_s	Зона	Цвет
низкий	маловероятная	$r_s < 0,001$	$l_s \geq 3$	С	зеленый
средний	малозначимая	$0,001 \leq r_s < 0,1$	$1 < l_s < 3$	В	желтый
высокий	опасная	$0,1 \leq r_s \leq 1$	$0 < l_s \leq 1$	А	красный

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Пример 1. Рассмотрим атаку, которой в процес-се ее развития надо преодолеть $M=3$ барьера (та-блица 3, рисунок 5). Значения для профиля атаки взяты случайным образом из диапазона $[0,1; 0,9]$.

Траектория атаки

Вероятность успеха атаки после преодоления i -этапа равна значению ВФ атаки оставших-ся этапов и является мерой опасности атаки на данном этапе

$$R_i = r_N \cdot r_{N-1} \cdot \dots \cdot r_{i+1} = \prod_{j=i+1}^N r_j = r_s / \prod_{j=1}^i r_j$$

Значения R_i ($i=1\dots N$) образуют *траекторию атаки* и монотонно возрастают с ростом номе-ра этапа. Их тоже можно представить как век-тор *развития атаки* $(R)=(R_1, R_2, \dots, R_N)$ и соот-ветствующий вектор *динамики защищенности* $(L)=(L_1, L_2, \dots, L_N)$, $L_i = -\lg(R_i)$.

Пример 2. Приведем данные для разобран-ного примера (таблица 4).

В графе R_i приведена условная вероятность успеха атаки, если она успешно развивалась вплоть до этого этапа i , включая его преодоле-ние – от состояния S_d ($i=1$) до S_h ($i=5$). Значение ВФ атаки $r_s=0,0144$ есть *прогноз* как *априорная*

оценка вероятности события X_0 (то есть того, что данная атака $a_{i,v}$ будет успешной). Отчетливо видны, по мере развития атаки, как монотон-ный рост этой величины (рисунок 6а), так и моно-тонное убывание защищенности (рисунок 6б).

Нарушитель и владелец

Субъект есть *Владелец* ЗО, если он несет ущерб при использовании Нарушителем уязви-мости v . С точки зрения как Нарушителя, так и Владельца, объект «атака $a_{i,v}$ » есть структура (си-стема) из трех подсистем:

Таблица 4. Развитие атаки

Этап		R_i	L_i
d	i	0,0144	1,84
t	1	0,024	1,62
b1	2	0,03	1,52
b2	3	0,15	0,82
b3	4	0,3	0,52
v	5	1,0	0,0
Среднее		0,0542	1,27

Таблица 3
Данные атаки

Нач.	Кон.	Событие	i	r_i	l_i
S_d	S_1	Угроза t актуальна	1	0,6	0,22
S_1	S_2	Преодолен барьер b_1	2	0,8	0,1
S_2	S_3	Преодолен барьер b_2	3	0,2	0,7
S_3	S_4	Преодолен барьер b_3	4	0,5	0,3
S_4	S_h	Нанесен вред через v	5	0,3	0,52
Средние значения				0,428	0,37

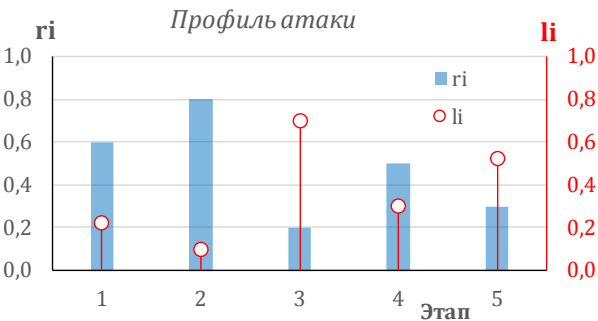
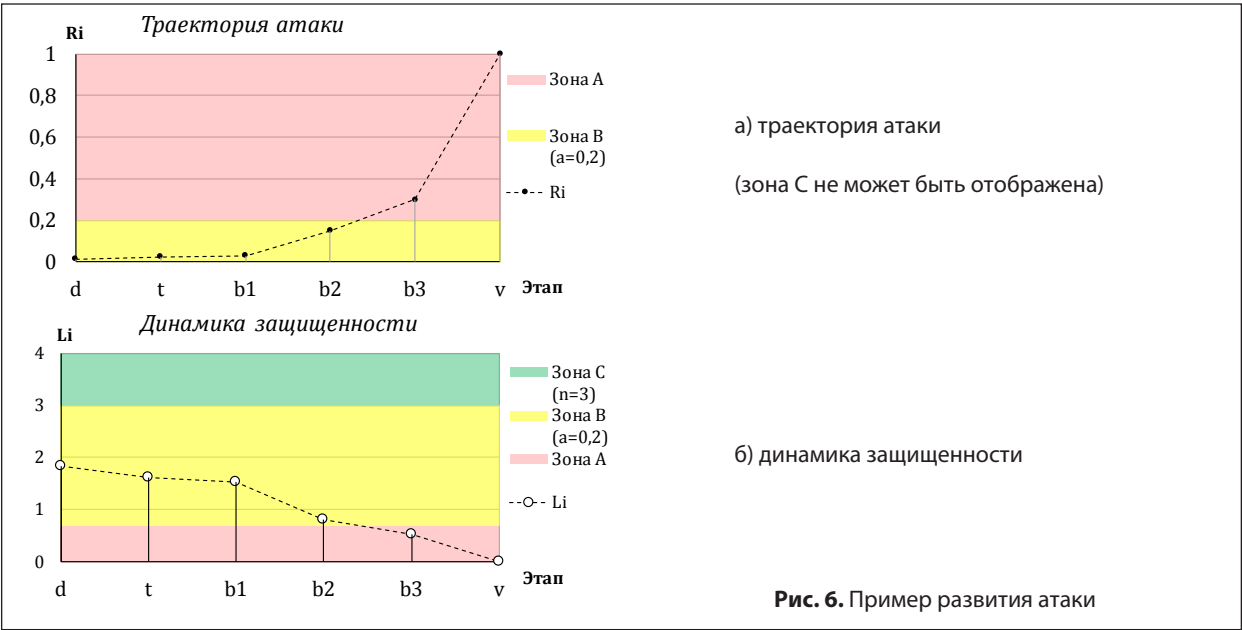


Рис. 5. Профиль атаки



а) траектория атаки
(зона С не может быть отображена)

б) динамика защищенности

Рис. 6. Пример развития атаки

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- опасности d , переходящей в угрозу t ,
- системы барьеров b_m , $m=1...M$ (как система защиты) и
- уязвимости v , характеризующей ЗО.

Отнесение показателей именно к ЗО является некоторой натяжкой, поскольку она характеризует всю атаку, а не только ЗО.

Оценка агрессивности/пассивности атаки

Рассмотрим (рисунок 7а) две атаки а_1 (левые колонки) и а_2 (правые колонки).

Профили этих атак совпадают по числу значений, попадающих в зоны А и В (рисунок 7в), все показатели (рисунок 7а, жирный шрифт) имеют одинаковые значения: $r_s=0,00945$, $l_s=2,02$, $r^*=0,39$, $l^*=0,405$. Однако атаки качественно явно различаются. Например, вектор развития а_1 почти на всех этапах находится в зоне А, в то время как для а_2 попадает в нее только при завершении атаки (рисунок 7б, г). Поэтому атака а_1 является опасной почти на всем своем протяжении, она более «агрессивна» и требует от службы безопасности большего внимания, чем а_2. Причем эта агрессивность зависит, естественно, от опасности атаки на этом на этапе i , то есть, от значения R_i . Ясно, что введенные показатели не отражают особенности развития атак.

Модели того, как именно службы реагируют на значение R_i , обсудим вместе с экономически-

ми аспектами задачи. Пока, ограничиваясь только вероятностными аспектами проблемы, оценим агрессивность атаки, по аналогии с r^* , через среднее геометрическое значение R^* опасностей R_i на этапах, равное среднегеометрическому значений ВФ атаки всех атак, возникающих после преодоления каждого из этапов

$$R^* = \left(\prod_{i=1}^N R_i \right)^{1/N}, \tag{3}$$

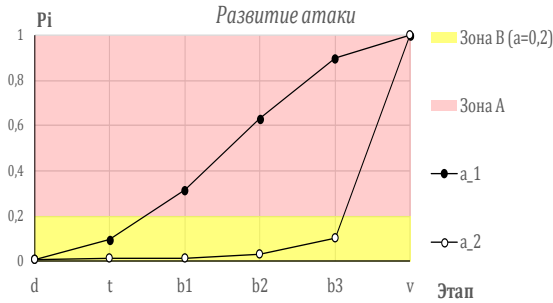
Эта величина оценивает усилия, затрачиваемые на отслеживание атаки по мере ее развития. Потому ее естественно назвать *агрессивностью* (силой, мощностью, интенсивностью) атаки – чем больше ее значение, тем больше проблем доставляет данная атака. Значения этой величины для приведенных атак равны 0,174 и 0,021 соответственно. Очевидно, что атака а_1 более агрессивна и доставляет больше хлопот, чем а_2, которую можно назвать *пассивной*. Так как

$$\begin{cases} R_1 = r_N \cdot r_{N-1} \cdot r_{N-2} \cdot \dots \cdot r_2 \cdot r_1 \\ R_2 = r_N \cdot r_{N-1} \cdot r_{N-2} \cdot \dots \cdot r_2 \\ \dots \\ R_{N-1} = r_N \cdot r_{N-1} \\ R_N = r_N \end{cases},$$

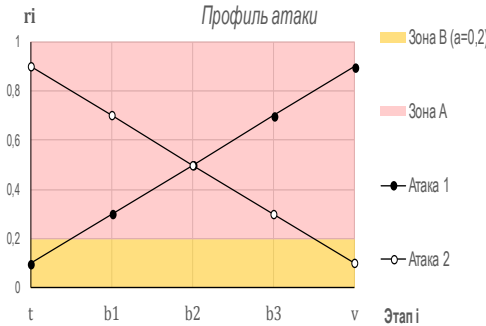
то $\prod_{i=1}^N R_i = r_N^N \cdot r_{N-1}^{N-1} \cdot \dots \cdot r_i^i \cdot \dots \cdot r_2^2 \cdot r_1^1 = \prod_{i=1}^N (r_i)^i$.
Поэтому (3) принимает вид:
$$R^* = \left(\prod_{i=1}^N (r_i)^i \right)^{1/N} \tag{4}$$

Этап	i	Профиль атаки				Развитие атаки			
d	0	r_i		l_i		P_i		L_i	
t	1	0,1	0,9	1,000	0,046	0,0945	0,0105	1,02	1,98
b1	2	0,3	0,7	0,523	0,155	0,315	0,015	0,50	1,82
b2	3	0,5	0,5	0,301	0,301	0,63	0,03	0,20	1,52
b3	4	0,7	0,3	0,155	0,523	0,9	0,1	0,05	1,00
v	5	0,9	0,1	0,046	1,000	1,0	1,0	0,00	0,00
r^*		0,39		0,39		r_s		0,00945	
l^*		0,405		0,405		l_s		2,02	

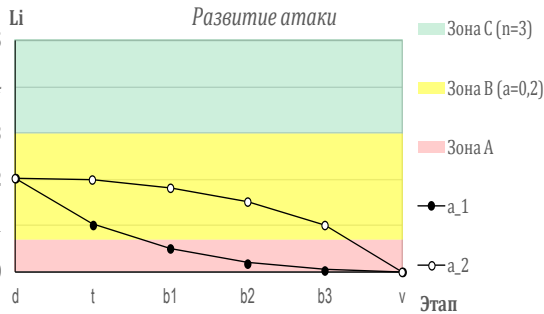
а) данные атак



б) траектории атак (R)



в) профили атак



г) динамика защищенности (L)

- д) легенда:
- Зона С (n=3)
 - Зона В (a=0,2)
 - Зона А
 - Атака 1
 - Атака 2

Рис. 7. Сравнение двух атак

Влияние финальных этапов

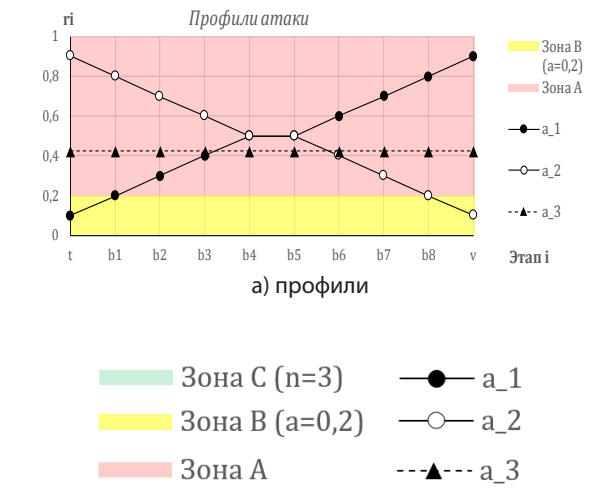
Рассмотрим три атаки с одним и тем же числом этапов ($N=10$) с диапазоном вероятностей $r_i \in [0,1; 0,9]$. Такой диапазон выбран потому, что он охватывает «средние» вероятности реализации событий и не содержит совсем уж малых

Таблица 5. Типы профилей атак

Атака	Вероятность преодоления этапа	Тип профиля
a_1	средняя	постоянный
a_2	от низкой к высокой	нарастающий
a_3	от высокой к низкой	падающий

Таблица 6. Данные атак

Этап i		r _i			R _i		
i	d	a_1	a_2	a_3	a_1	a_2	a_3
i	d				1,81E-4	1,8E-4	1,8E-4
1	t	0,1	0,9	0,42	0,002	2,0E-4	4,3E-4
2	b1	0,2	0,8	0,42	0,009	2,5E-4	0,001
3	b2	0,3	0,7	0,42	0,03	3,6E-4	0,002
4	b3	0,4	0,6	0,42	0,076	6,0E-4	0,006
5	b4	0,5	0,5	0,42	0,151	0,001	0,014
6	b5	0,5	0,5	0,42	0,302	0,002	0,032
7	b6	0,6	0,4	0,42	0,504	0,006	0,076
8	b7	0,7	0,3	0,42	0,72	0,02	0,179
9	b8	0,8	0,2	0,42	0,9	0,1	0,423
10	v	0,9	0,1	0,42	1,0	1,0	1,0
Показатели	r _s	1,8E-4	1,8E-4	1,8E-4			
	R*	0,05	0,002	0,009			
	l _s	3,74	3,74	3,74			
	L*	1,299	2,816	2,055			



или больших значений. Профили атак (таблицы 5, 6, рисунок 8) подобраны так, чтобы отразить различные ситуации в преодолении этапов и оценить развитие соответствующих атак.

Оттенками серого фона в левой части таблицы отражен профиль атаки. Значение $r_i=0,42$ для a_3 взято для того, чтобы значение ВФ всех трех атак было одним и тем же. В правой части таблицы этапы, для которых вероятность успешного завершения атаки на данном этапе ее развития попадает в одну из зон, выделены соответствующим фоном.

Графики профилей и траекторий атак, а также динамики защищенности приведены на рисунок 8.

- Легко видеть, что:
- значительная часть траекторий попадает в зону В (рисунок 8б, в);
 - даже при столь «высоких» профилях начало траекторий попадает в зону С (рисунок 8в);
 - чем больше значения профиля на его конечных этапах, тем большая часть траектории атаки проходит в зоне А (рисунок 8).

Поэтому **большинство атак опасны только на завершающих этапах.**

Для проверки сравним три атаки, профили которых совпадают на начальных этапах и значительно различаются на финальных (рисунок 9).

Очевидна определяющая роль финального этапа профиля при полном совпадении профилей в первой половине вектора атаки:

- а) чем он ниже, тем большая часть атаки попадает в зону В и даже С (a_1, a_2);
- б) чем он выше, тем большая часть атаки попадает в зону А (a_3).

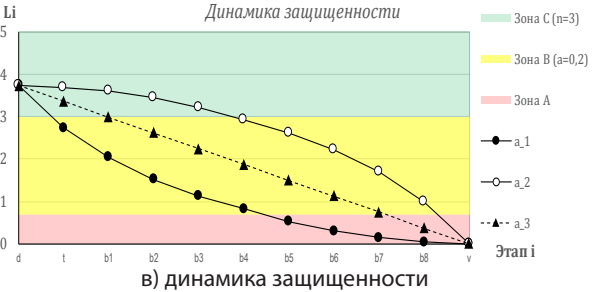
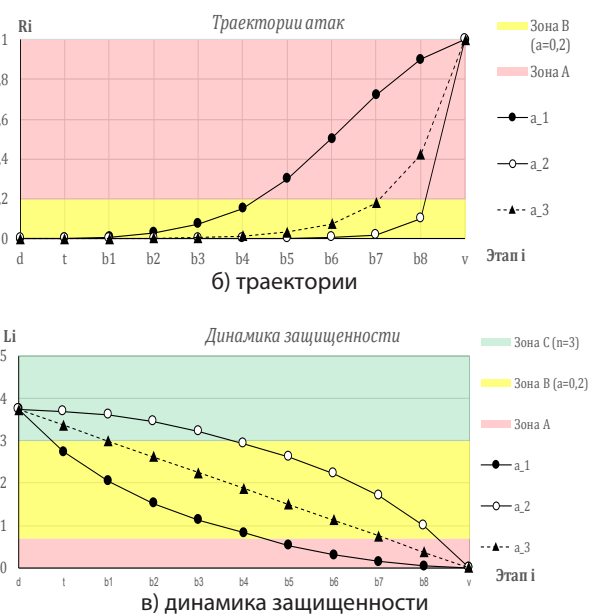


Рис. 8. Три атаки (пример)

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

То есть, атаки с профилями, мало отличающимися на последних этапах, мало отличаются и в траекториях.

Для проверки этого предположения рассмотрим три атаки, профили которых отличаются на первых пяти этапах, а на остальных совпадают (рис. 10).

Здесь значительные различия профилей на начальных этапах практически нивелируются на последних этапах атаки – траектории сильно различаются лишь в зоне малозначимости В или в зоне пренебрежимо малых вероятностей С.

Таким образом, можно обоснованно утверждать: **показатели атаки определяются, в основном, финальными этапами.**

Поэтому атаку удобнее рассматривать с точки

зрения владельца, когда развитие атаки выглядит как приближение угрозы к уязвимости. За неимением лучшего будем называть параметр $k=N+1-i$ *рубежом* (обороны), хотя его семантика и близка к термину *этап*. Тогда заключительные этапы атаки соответствуют ближним рубежам (обороны), а начальные – дальним.

Классификация атак

Отражая *опасность* и *агрессивность/пассивность* атаки, показатели (r_s, R^*) позволяют ввести более тонкую классификацию типов атак. Критерием опасности атаки является выполнение неравенства $r_s \geq r_{crit}$, критерием же ее агрессивности – неравенства $R^* \geq R^*_{crit}$. Для r_s в качестве критического значения можно выбрать уровень

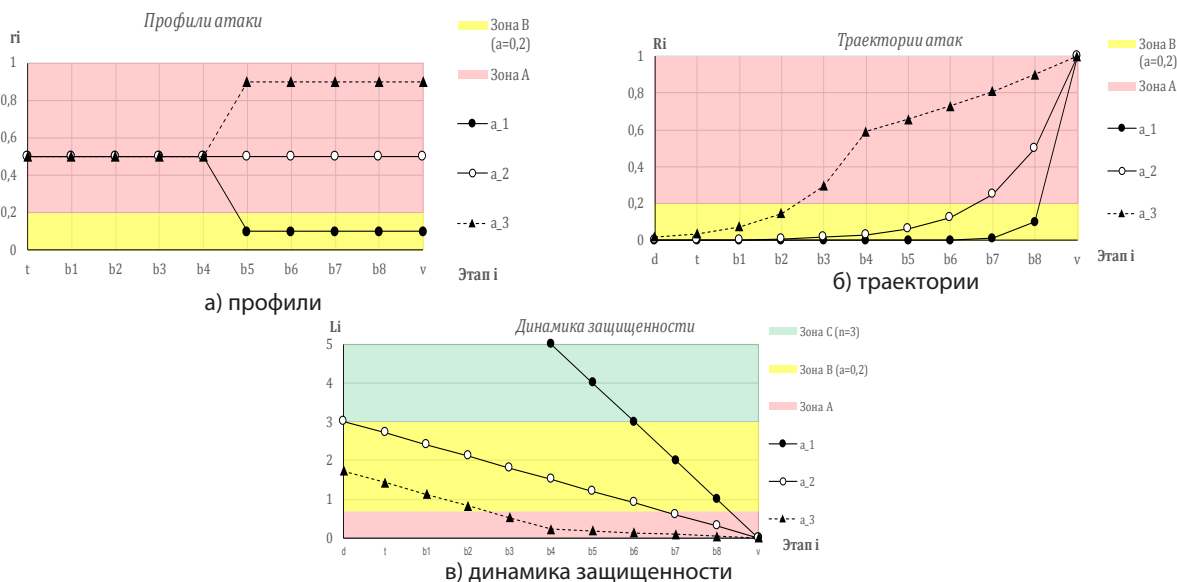


Рис. 9. Сравнение атак с одинаковыми профилями в начале

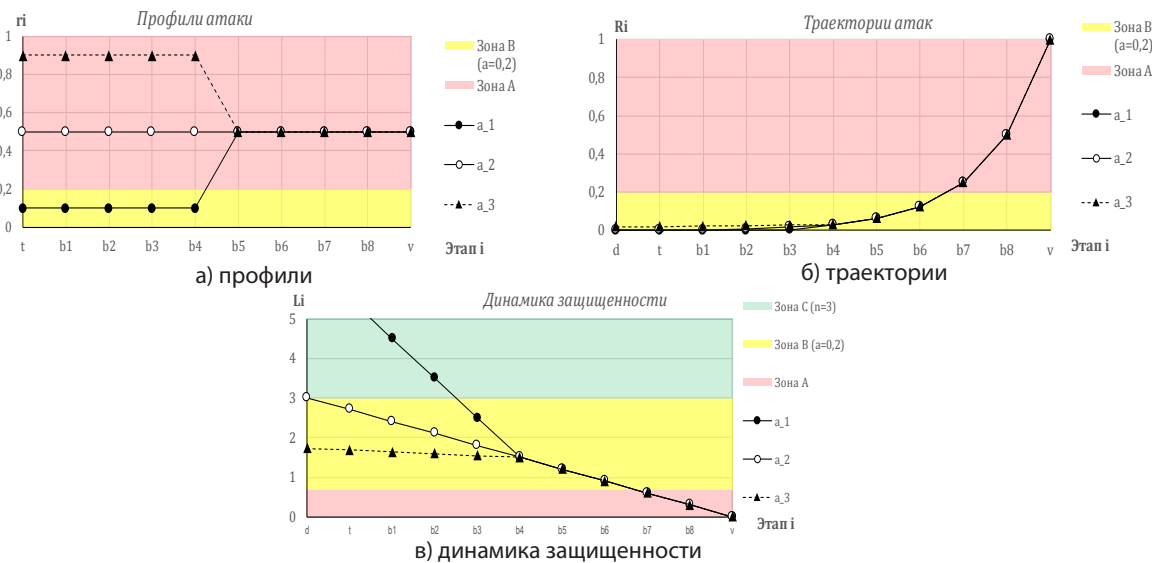


Рис. 10. Сравнение атак с одинаковыми профилями в конце

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

значимости: $r_{crit} = \alpha$. Для простоты положим и $R^*_{crit} = \alpha$, хотя требования к R^* могут и быть другими (что скажется и на классификации атак).

Поскольку $0 < r_i < 1$, то $(r_i)^i > (r_i)^N$ при $i < N$. Заменим в (4) i на N :

$$R^* = \left(\prod_{i=1}^N (r_i)^i\right)^{1/N} > \left(\prod_{i=1}^N (r_i)^N\right)^{1/N} = \prod_{i=1}^N r_i \equiv r_s \Rightarrow R^* > r_s$$

То есть (если $R^*_{crit} = r_{crit}$), опасная атака всегда и агрессивна. Так получаем три возможных типа атак (рисунк 11).

В качестве примера приведем три атаки с постоянными профилями, но с различными вероятностями r_i (рисунк 12).

Оценка защищенности/невосприимчивости атаки

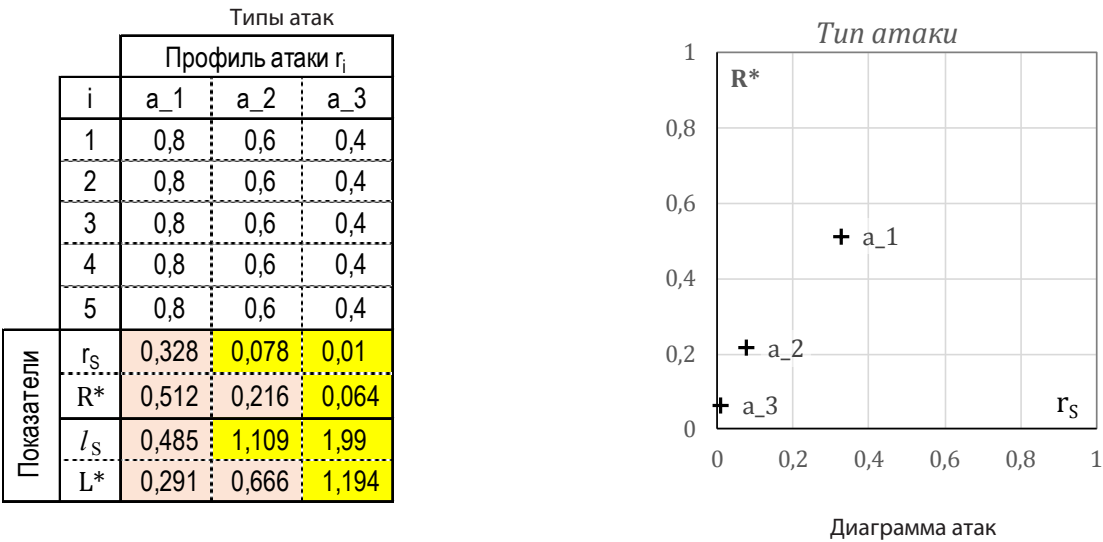
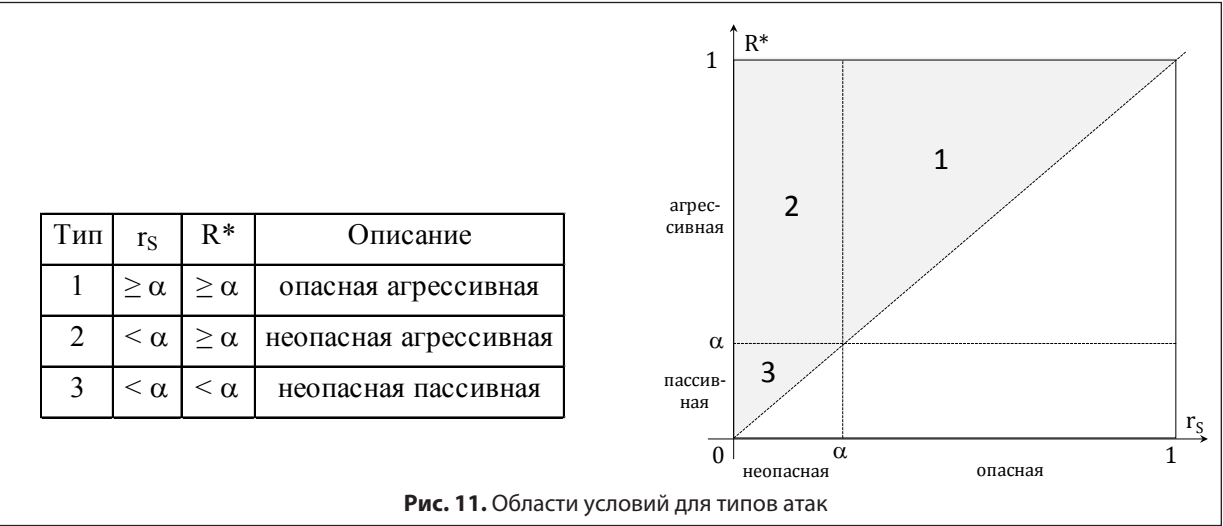
Среднее арифметическое

$$L^* = \left(\sum_{i=1}^N L_i\right) / N = -\lg(R^*)$$

величин $L_i = -\lg(R_i)$ есть *средняя защищенность* ЗО от данной атаки. Эту величину можно назвать *невосприимчивостью* (иммунитетом,...) ЗО, поскольку эта величина оценивает защищенность на протяжении всей атаки. Чем больше эта величина, тем больше ЗО обезопасен от данной атаки при ее развитии.

Вклад в L^* величины r_i тем больше, чем больше i (чем ближе она к концу атаки), поэтому главную роль тут играют вероятности преодоления именно последних этапов атаки.

Оценка с помощью вероятностей удобна лишь в областях 2 и 1, когда $(r, R^*) \geq \alpha$, и частично в области 3, когда $(r, R^*) \geq \alpha/2$. Оценку атак при малых значениях вероятностей удобно производить уже в логарифмической шкале, с помощью величин $l_s = -\lg(r_s)$ и $L^* = -\lg(R^*)$, причем всегда $l_s > L^*$. То есть, при широком диапазоне вероятностей лучше использовать пару (защищенность l_s – невосприимчивость L^*) (рисунк 13).



Тип	l_s	L^*	Описание
1	$\leq m$	$\leq m$	опасная агрессивная
2	$> m$	$\leq m$	неопасная агрессивная
3	$> m$	$> m$	неопасная пассивная

$m \equiv -\lg(\alpha) \approx 0,7$

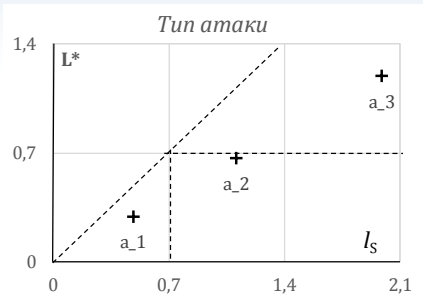


Рис. 13. Типы атак (пример)

На рисунке 13 (справа) показаны метки тех же трех атак.

В области 3 (рисунк 14) можно ввести и дальнейшую градацию типов, учитывая границу $l_{crit} = n$ между пренебрежимыми и малозначимыми событиями (соответствующее $r_{crit} = 10^{-n}$). Это приведет к разбиению области 2 на две подобласти, а области 3 – на три. Подобная детализация может пригодиться при аналитическом исследовании маловероятных атак.

Литература

1. Бутрина Е.П., Олейников В.П. Защищенность – объекты и события // Известия Института инженерной физики, 2021. №2(60). С.86-90.
2. Бутрина Е.П., Олейников В.П. Защищенность объекта: структуры событий и сценарный подход // Известия Института инженерной физики, 2021. №3(61). С.55-60.
3. Бутрина Е.П., Олейников В.П. Защищенность объекта: событийная модель угроз // Известия Института инженерной физики, 2022. №4(66). С.78-82.

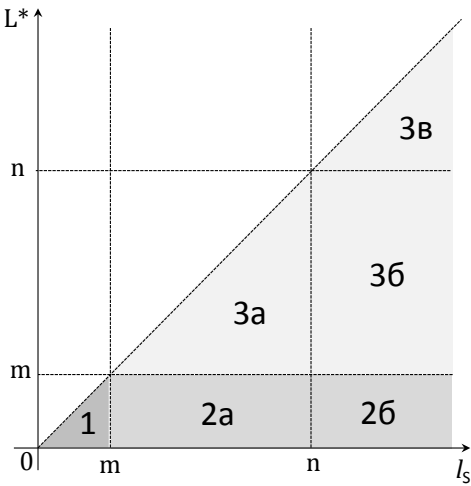


Рис. 14. Детализация типов атак

4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособ. для вузов. 2-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2000. 480 с.: ил.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.391

СТРАТЕГИИ ТЕСТИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

SECURITY TESTING STRATEGIES FOR DEVELOPED APPLICATIONS

Никита Викторович Кузьмин

магистрант

Московский технический университет
связи и информатики

Адрес: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а

E-mail: NKStudentMTUCI@yandex.ru

Максим Александрович Бессонов

кандидат технических наук

доцент кафедры

Московский технический университет
связи и информатики

Адрес: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а

Тел.: +7 (977) 751-46-98

E-mail: m.a.bessonov@mtuci.ru

Аннотация

В статье проводится описание стратегий белого и черного ящика с помощью использования инструментов статического и динамического анализа. Актуальность данной проблемы связана с постоянными новостями об уязвимостях приложений приводящих к утечкам персональных данных. Проведен анализ положительных и отрицательных черт использования анализаторов кода. Предложена стратегия совместной работы анализаторов для минимизации риска тестируемого ПО с учётом наименьших затрат.

Ключевые слова: метод белого ящика, метод черного ящика, статический анализ, динамический анализ, информационная безопасность, программное обеспечение.

Summary

The article describes the white and black box strategies using static and dynamic analysis tools. The urgency of this problem is associated with constant news about application vulnerabilities leading to leaks of personal data. The analysis of positive and negative features of the use of code analyzers is carried out. A strategy of joint work of analyzers is proposed to minimize the risk of the tested software taking into account the lowest costs.

Keywords: white box method, black box method, static analysis, dynamic analysis, information security, software.

Введение

В наше время уязвимости веб-приложений и утечки конфиденциальных данных пользователей регулярно попадают в новости. Это заставляет задуматься о том, что тестирование безопасности программного обеспечения является важным этапом в разработке веб-приложений и должно быть выполнено качественно. В то же время, необходимо учитывать стоимость тестирования, которая должна быть разумной и соответствовать выбранной компанией стратегии. Существуют две основные стратегии тестирования - черного и белого ящиков. Перед выбором и внедрением необходимо изучить, как каждый тип стратегии может помочь защитить жизненный цикл программного продукта. В конечном итоге, тестирование является важной частью разработки программного обеспечения и требует осторожности, так как низкое качество тестирования может привести к большим затратам компании.

Тестирование белого ящика

как метод статического анализа

Белый ящик – это метод тестирования, при котором исследуется внутренняя структура программы [1]. В этом методе тестировщики используют любые доступные сведения о программе, включая исходный код приложения. Этот метод также известен как метод стеклянного ящика или открытое тестирование кода [2]. Каждый термин указывает на прозрачность процессов, происходящих в рамках метода. Технологии статического анализа обычно используются в процессе тестирования белого ящика.

Статический анализ является методом тестирования программного обеспечения, который не требует запуска приложения. Он может быть использован на ранних этапах разработки, когда продукт еще не готов, чтобы снизить затраты на исправление ошибок перед запуском приложения. Статические анализаторы кода могут обнаружить ошибки и проблемы в исходном коде

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

программы, такие как нарушения конфиденциальности, проблемы проектирования и потенциально вредоносный код, что позволяет проверить все возможные сценарии работы программы. Эти инструменты сравнимы с обзором кода, который может сэкономить время и снизить затраты на исправление ошибок в программном обеспечении.

Метод обзора кода – один из самых надежных способов выявления дефектов, суть которого заключается в тщательном изучении исходного кода программистами и выявлении возможностей его улучшения [3]. Подозрительные участки кода могут быть обнаружены в процессе обзора, что позволяет предотвратить возможные ошибки в будущем. Чтобы облегчить процесс анализа, код и комментарии должны быть понятными без дополнительных объяснений от автора. Если это не выполняется, необходимо доработать код.

Обзоры кода эффективны, поскольку программисты обычно лучше видят ошибки в чужом коде. Однако главным недостатком такого подхода является высокая стоимость. Для того чтобы проверять новый код или повторять проверку после рекомендаций, несколько программистов должны регулярно встречаться. В то же время такие встречи могут приводить к переутомлению и ухудшению внимательности, поэтому необходимы перерывы, поскольку одновременный просмотр большого фрагмента кода может быстро утомить внимание и свести на нет преимущества проверки кода.

В одном случае, мы стремимся к регулярной

проверке кода в процессе разработки, но с другой стороны, такой подход может оказаться слишком затратным. В этом случае инструменты статического анализа кода могут стать компромиссным решением, поскольку они непрерывно работают с исходным кодом программы и мотивируют программистов обращать внимание на конкретные участки кода. Однако следует понимать, что эти инструменты не могут полностью заменить полную проверку кода, которую выполняет команда программистов. Тем не менее, использование статического анализа является удобным и эффективным методом, ведь он может помочь в процессе обнаружения уязвимостей благодаря:

- 1. выявлению участков кода, которые не отформатированы в соответствии с определенным стилем кодирования;
- 2. поиску наименований методов, классов и переменных, которые не соответствуют внутренним стандартам компании;
- 3. помощи в уменьшении сложности кода и улучшении его обслуживаемости путем выявления проблем проектирования, включая цикломатическую сложность;
- 4. обнаружению кода, имеющего уязвимости;
- 5. выявлению неполных или неправильных тестов программного обеспечения, приводящих к потенциальным проблемам.

Стоит отметить, что зачастую со статическими анализаторами кода работают тестировщики, они получают исходный код приложения от программистов и выполняют проверку кода при помощи статических анализаторов кода. Для луч-

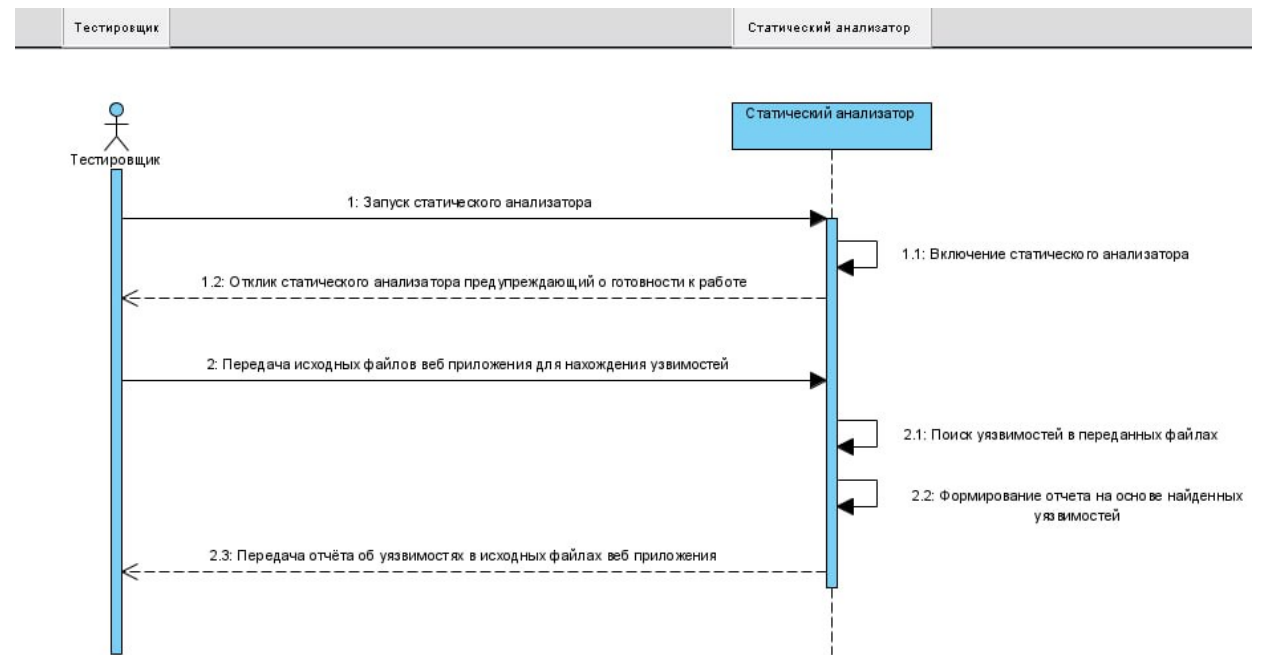


Рис. 1. Диаграмма последовательности работы тестировщика со статическим анализатором кода

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

шего понимания на *рисунке 1* продемонстрирована диаграмма последовательности работы тестировщика со статистическим анализатором кода.

После получения отчета об уязвимостях в исходных файлах, тестировщики передают данную информацию программистам, что позволяет им работать над конкретными проблемами, выявленными статическими анализаторами кода вместо того, чтобы тратить много времени на обзор кода в целом. Такой подход позволяет сократить время на обнаружение и исправление ошибок, что является наиболее оптимальным в сравнении с постоянным обзором кода несколькими программистами.

Получается, статический анализ является оптимальным решением для сокращения затрат на устранение программных дефектов, поскольку он не требует постоянных обзоров кода, в которых участвуют несколько программистов. Это позволяет значительно снизить стоимость обнаружения и исправления ошибок.

Тестирование черного ящика как метод динамического анализа

Тестирование по стратегии «черного ящика» представляет собой метод тестирования программного обеспечения, при котором система проверяется на соответствие заданным требованиям и ожидаемому поведению, независимо от ее внутренней структуры и реализации [1]. Тестировщики используют входные и выходные данные для проверки, как система взаимодействует с пользователем, на скорость реакции, удобство использования, а также на проблемы

надежности. Пользователи ожидают, что система будет работать правильно и безупречно, не задумываясь о ее внутренней структуре и функциональности. Аналогично тестировщики тестируют систему, воспроизводя действия пользователя и убедившись, что система работает так, как ожидалось. Такой метод тестирования также известен как тестирование непрозрачного или закрытого ящика, основанное на ГОСТ 15408 [4]. Технологии, используемые во время тестирования «черного ящика», обычно называют технологиями динамического анализа.

Динамический анализ программы заключается в ее анализе в процессе выполнения [5]. Этот процесс может быть разделен на несколько этапов:

1. подготовка начальных данных;
2. запуск программы в тестовом режиме и сбор нужных параметров;
3. анализ полученных данных.

Для выполнения динамического анализа кода применяются специализированные инструменты, которые запускают программы, собирают и анализируют выходные данные. Перед использованием инструмента тестировщики предоставляют набор входных данных, которые используются для исследования программы. Качество и количество этих используемых данных существенно влияют на эффективность анализа, поскольку от них зависит покрытие кода, полученного в результате проведения тестов. Для удобства и наглядности на *рисунке 2* показана диаграмма последовательности работы тестировщика с динамическим анализатором кода.

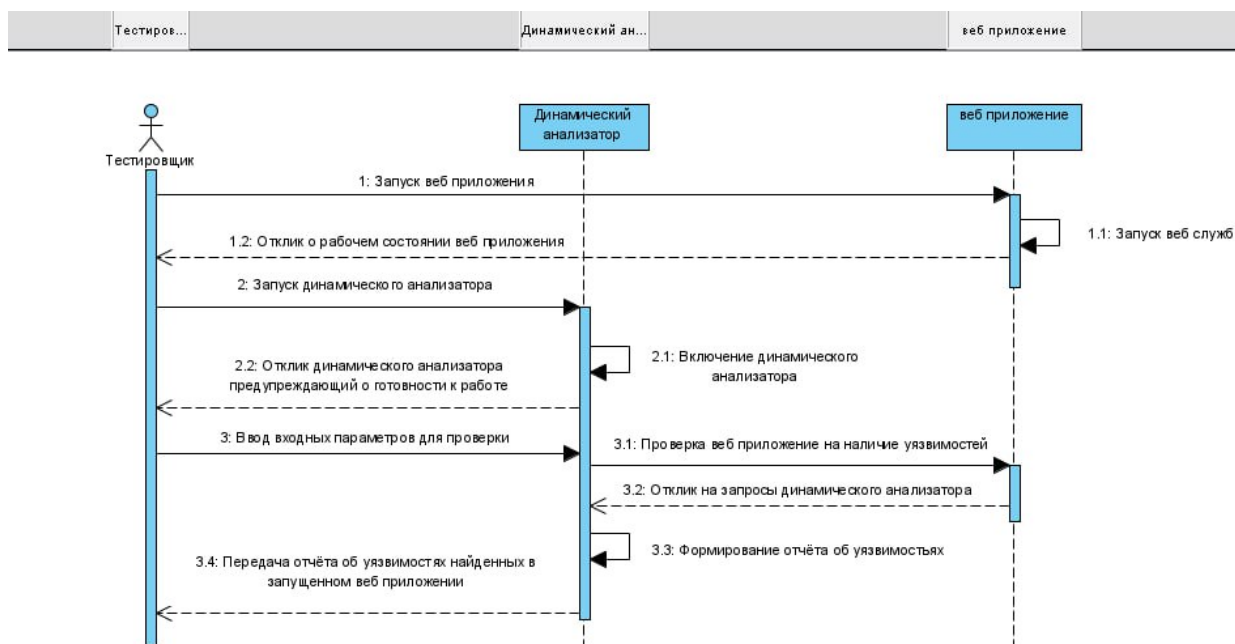


Рис. 2. Диаграмма последовательности работы тестировщика с динамическим анализатором кода

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Динамические анализаторы кода позволяют тестировщику контролировать различные аспекты работы системы, включая ее функциональное поведение, производительность, время отклика и использование системной памяти. Этот тип анализа аналогичен способу, с помощью которого злоумышленники могут взаимодействовать с приложением. Благодаря динамическому анализу можно получить следующую информацию о приложении:

- 1. ресурсы, которые необходимы для выполнения программы или ее отдельных модулей, включая объем используемой памяти, время, затрачиваемое на выполнение, количество запросов и другие метрики;
- 2. программные ошибки – некорректная обработка исключительных ситуаций, неправильное использование операторов ветвления и циклов, неправильная обработка входных данных;
- 3. уязвимости в программе.

Динамический анализ кода играет важную роль в областях, где критически важным является обеспечение надежности программы, ее времени отклика и использования ресурсов. Этот метод позволяет проверить работоспособность продукта и обнаружить уязвимости, которые могут привести к сбоям программы. Однако, даже если тестирование не выявило никаких изъянов, это не гарантирует отсутствие уязвимостей. Логические ошибки не могут быть обнаружены при динамическом анализе кода, поэтому, даже если тестирование покрыло весь код, это не означает, что программа полностью безопасна.

Иногда статический и динамический анализаторы считаются противоположностями, но на самом деле они были разработаны для решения разных задач, и каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, которые были описаны выше.

Слабые стороны динамического и статического анализа

Ранее мы рассматривали динамический и статический анализаторы в основном только с положительных сторон, показанных в *таблице 1*.

Выявив положительные стороны инструментов анализа, настало время обсудить отрицательные аспекты. У статического анализатора есть две основные проблемы:

- 1. статический анализ не способен выявлять утечки памяти и ошибки параллелизма, которые могут быть обнаружены только при запуске веб-приложения. В отличие от статического анализатора, динамический анализатор работает с запущенным приложением и является более эффективным инструментом для обнаружения утечек памяти и ошибок параллелизма;
- 2. программа статического анализа может предупредить о подозрительных местах в коде, но это не всегда означает, что код содержит ошибки. Эти случаи называются ложными срабатываниями, и они неминуемы при использовании статических анализаторов из-за теоремы Райса, согласно которой для некоторых свойств определить, может ли алгоритм вычислить функцию с таким свойством, является невозможной задачей. Поэтому только программист может понять, является ли предупреждение об ошибке действительным или ложным. Это может занять дополнительное время и отвлечь внимание от участков кода, где на самом деле есть проблемы.

С другой стороны, использование динамического анализатора кода имеет ряд следующих недостатков:

- 1. динамический анализ может обнаруживать дефекты только в участках кода, которые были выполнены при определенных входных данных. Ошибки, которые находятся в других частях программы, могут остаться незамеченными;
- 2. невозможно гарантировать, что программа работает без ошибок и соответствует заданным требованиям и ожиданиям программиста;
- 3. проверить правильность работы программы возможно только для одного конкретного пути выполнения в каждый момент времени. Для обеспечения полноты тестирования необходимо запустить большое количество тестов на различных путях выполнения.

Таблица 1
Положительные стороны статических и динамических анализаторов

Анализаторы	Плюсы
Статические	1. Может применяться на самых ранних этапах жизненного цикла ПО; 2. Проверяет все возможные сценарии работы веб-приложения; 3. Низкая стоимость затрат на устранение программных дефектов.
Динамические	1. Работает без доступа к исходным файлам; 2. Проверяет веб-приложение в рабочей среде; 3. Динамические анализаторы работают также, как и злоумышленники.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Выбор стратегии тестирования

Статическое и динамическое тестирование имеют свои ограничения, но компании не должны выбирать только один из них. Хотя статический анализ может считаться более эффективным методом тестирования, это не означает, что его следует предпочитать динамическому анализу во всех ситуациях. Чтобы минимизировать риски для тестируемой системы, целесообразно сочетать оба подхода. Цель этого – разработать эффективные превентивные меры, чтобы обеспечить приемлемый уровень остаточного риска в системе.

При использовании статического анализатора, предполагается, что существуют две гипотезы Н0 – угроза данного типа существует или альтернативная ей гипотеза Н1 – угроза данного типа не существует благодаря которым можно построить матрицу ошибок, показанную на рисунке 3.

На рисунке выше сценарии, в которых статический анализатор правильно определил гипотезу об угрозе, показаны зеленым цветом, а сценарии, в которых произошла ошибка первого или второго рода – красным. Ложные срабатывания часто возникают при использовании статических анализаторов, как было сказано выше, что приводит к частым случаям 2-го типа. Для сокращения данных ошибок предполагаем, что нужно воспользоваться динамическим анализатором, который уменьшит количество ошибок первого и второго рода, что приведёт к снижению риска всего продукта. Именно поэтому предполагаем, что наиболее выгодной стратегией является объединение двух методов тестирования в целях снижения риска.

Комбинирование последовательности действий различных видов анализа в среде разработки

Как было отмечено выше, у статического и динамического анализа есть свои сильные и слабые стороны. Поэтому разработчики должны пользоваться этими инструментами в комбинации для снижения риска системы.

Чтобы обеспечить максимальную защищенность продукта и повысить эффективность ПО, нужно использовать как статический, так и динамический анализ. Разработчики могут выполнять оба вида анализа вручную, но также рекомендуется автоматизировать процесс. Разумное использование инструментов автоматизации может значительно повысить эффективность разработки продукта. Идеально автоматизацию использовать для проверки реакции системы на большое количество пользователей или для проверки исправлений ошибок. Автоматизация также помогает регулярно выполнять тесты во время разработки продукта. Тем не менее, следует отметить, что ни статическое, ни динамическое тестирование не могут обнаружить все уязвимости [6]. Особенно, это актуально, когда речь идёт об уязвимости нулевого дня [7]. Поэтому идеальный подход заключается в сочетании обоих видов анализа, что приведет к синергетическим отношениям и минимизации рисков в тестируемой системе [8].

На рисунке 4 можно увидеть пример совместного использования обоих типов инструментов.

Этот рабочий процесс схож со средними и крупными проектами, где уже применяются такие методы, как ночные сборки, управление исходным кодом и владение кодом. Такой подход

		Действительные гипотезы	
		Н0	Н1
Предполагаемые гипотезы	Н0	Угроза обнаружена	Угроза обнаружена (Ошибка 2 рода)
	Н1	Угроза не обнаружена (Ошибка 1 рода)	Угроза не обнаружена

Рис. 3. Матрица ошибок для гипотез статического анализатора

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

обычно приводит к улучшению качества кода и снижению рисков в процессе разработки ПО. Кроме того, этот подход может также сократить время и затраты на разработку, поскольку дает возможность быстро выявлять и исправлять ошибки в коде. Таким образом, использование данного рабочего процесса может быть полезным для команд разработчиков любых размеров, которые стремятся к повышению эффективности и качества своей работы.

Вывод

С учетом того, что сегодня используется множество современных устройств, качественная безопасность разрабатываемых приложений

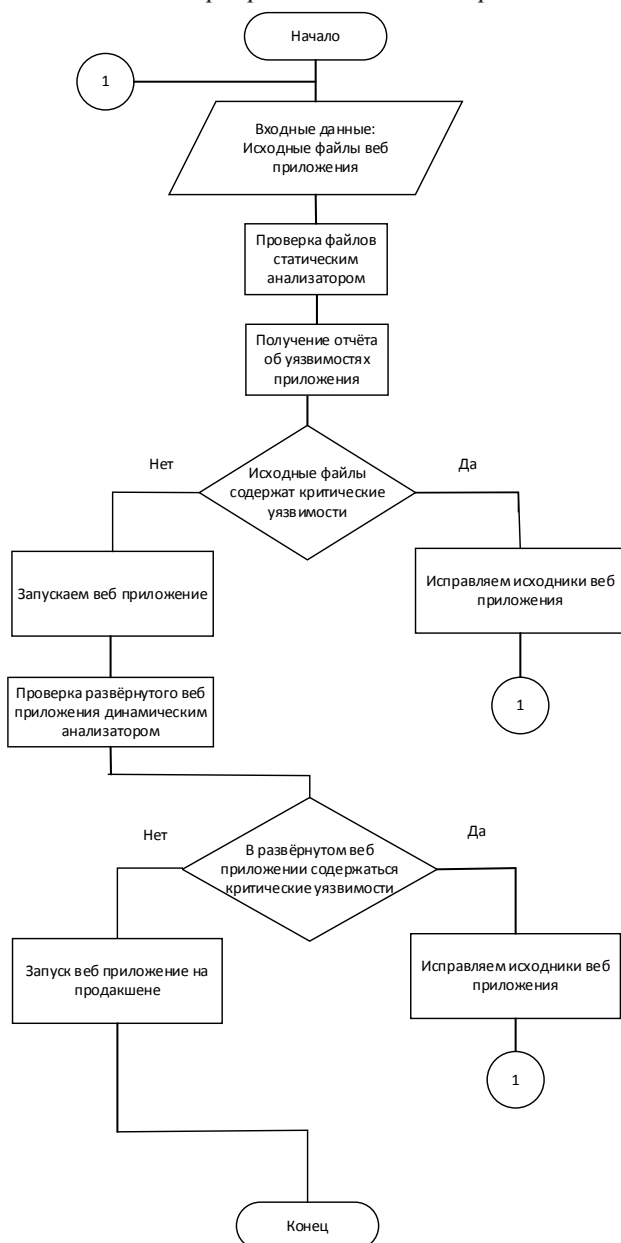


Рис. 4. Блок-схема совместного использования двух видов инструментов

приобретает все большее значение. Благодаря методам статического анализа можно обнаруживать ошибки программирования до того, как код будет выполнен. Также разработчики могут надежно анализировать все части нового кода с помощью средств статического анализа во время обычных сборок системы. Однако использование статического анализатора не гарантирует полную безопасность приложения, поскольку, уязвимости могут быть обнаружены на более поздних этапах тестирования при запуске кода.

Методы динамического анализа обеспечивают мониторинг ошибок, возникающих в процессе выполнения программы на этапах тестирования и интеграции, и передачу информации о них в среду разработки. Эти методы могут полностью контролировать возникновение ошибок и предоставлять разработчикам информацию для быстрой отладки программного обеспечения, позволяя находить ошибки и системные сбои.

Таким образом, стратегия, сочетающая методы динамического и статического анализа, полезна и помогает разработчикам создавать более качественное программное обеспечение за меньшее время.

Литература

1. Glenford J.M. The art of software testing / M.J. Glenford, T. Badgett, C. Sandler, – John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2012. 254 p.
2. Канер С. Тестирование программного обеспечения. Киев: ДиаСофт, 2001. 542 с.
3. Статический анализ кода [Электронный ресурс] // pvs-studio. Режим доступа: <https://pvs-studio.com/ru/blog/terms/0046/> (дата обращения: 5.12.2022).
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2012 [Электронный ресурс] // docs.cntd.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200101777> (дата обращения: 05.01.2023).
5. Динамический анализ кода [Электронный ресурс] // pvs-studio. Режим доступа: <https://pvs-studio.com/ru/blog/terms/0070/> (дата обращения: 4.12.2022).
6. Демидов П.Д. Статический и динамический анализ исходного кода [Электронный ресурс] / П.Д. Демидов // Молодой ученый. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/240/55456/> (дата обращения: 5.12.2022).
7. [Электронный ресурс] // www.kaspersky.ru. Режим доступа: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/definitions/zero-day-exploit> (дата обращения: 05.01.2023).
8. Макконнелл С. Мастер-класс: Совершенный код. СПб.: Питер, издательско-торговый дом «Русская редакция», 2005. 896 с.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 539.182

ОБОБЩЕННЫЕ УНИТАРНЫЕ ГРУППЫ СИММЕТРИЙ В МНОГОМЕРНОЙ ТЕЛЕПОРТАЦИИ GENERALIZED UNITARY SYMMETRY GROUPS IN MULTIDIMENSIONAL TELEPORTATION

Сергей Владимирович Смуров

почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
Первый Вице-президент Института –
Главный конструктор
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: Svs_iif@mail.ru

Геннадий Германович Волков

доктор физико-математических наук, профессор
старший 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: gennadii.volkov@rambler.ru

Аннотация

Общие интересы квантовой физики и квантовой информации связаны с детализацией комплексных проективных многообразий и их подмногообразий, соответствующих состояниям высоких $SU(2)$ -спинов и $SU(n)$ -групповых многообразий $n=3,4,\dots$. Исследование квантовой телепортации с соответствующими механизмами запутывания и последующего измерения многомерных квантовых состояний (кутриты и выше) пересекаются с теорией неабелевых чисел, мааркрионами и их матричных представлений, которые были введены нами при неабелевой циклической комплексификации многомерных Эвклидовых пространств R^n , $n=3,4,5,\dots$. Эти новые числа естественным образом связаны с мультинарными алгебрами и соответствующими группами симметрий, расширяющих понятия сопряжения, транспонирования, эрмитовости и унитарности.

Ключевые слова: квантовая теория информации, квантовая физика, вакуум, спин, запутывание, телепортация, нелокальность, комплексное сопряжение, комплексификация, эвклидовы пространства, транспонирование, эрмитовость, унитарность, группы, алгебры, симметрии, мааркрионы.

Summary

The general interests of quantum physics and quantum information are related to the detailing of complex projective manifolds and their subvarieties corresponding to the states of high $SU(2)$ -spins and, in general, $SU(n)$ -group manifolds $n=3,4,\dots$. The study of quantum teleportation with the corresponding mechanisms of entanglement and subsequent measurement of multidimensional quantum states (kutrits and above) intersect with the theory of multinary non-Abelian numbers, maarkryons and their matrix representations, which were introduced by us during the non-Abelian cyclic complexification of multidimensional Euclidean spaces R^n , $n=3,4,5,\dots$. These new numbers are naturally related to multinary algebras and the corresponding symmetry groups, which extend the notions of Complex Conjugation, Transposition, Hermiticity, and Unitarity.

Keywords: quantum information theory, quantum physics, vacuum, spin, entanglement, teleportation, nonlocality, complex conjugation, complexification, Euclidean spaces, transposition, hermiticity, unitarity, groups, algebras, symmetries, maarkryons.

1. Спиновые состояния в унитарной квантовой физике и унитарной теории квантовой информации

Проблемы глобальной квантовой телепортации тесно переплетены с дальнейшим прогрессом квантовой теории кварк-лептонной физики высоких энергий, которые, прежде всего, обозначены в связи локальных и глобальных свойств вакуума (вакуумов) Вселенной.

Можно изучать Вселенную либо с точки зрения пространственно-временных ее свойств и поиска новых симметрий и дополнительных размерностей $D=3s+1t+(\dots)>4$, либо из деталь-

ного изучения квантовых свойств уже известных частиц и поиска новых состояний с еще неизвестной пока сигнатурой их проявления как в обычной экспериментальной физике частиц, так и в новых формах квантового запутывания и основ глобальной квантовой телепортации [1-4]. Так невидимые дополнительные размерности, имеющие совершенно новые топологические свойства, размеры и различные сигнатуры $D=m\cdot s+n\cdot t+k\cdot t'$, могут привести к скрытым симметриям вселенной, которые могут проявиться в новых квантовых пространственно-временных свойствах частиц и соответствующих состояний,

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

расширяющих принципы теории относительности Галилея до специальной теории относительности с группой симметрии Лоренца $SO(1,3)$ и ее неприводимых представлений. Локальные и глобальные пространственно-временные свойства вакуума специальной теории относительности, характеризуемые абсолютизмом скорости света, тесно связаны с $U(1)_{\text{EM}}$ -электромагнитно-взаимодействующей материей, которая также наделена спиновой структурой в соответствии с неприводимыми представлениями группы $SU(2)$, дважды накрывающей 3-х мерную группу пространственных вращений $SO(3)$, положенной в основу квантования атома водорода на первых этапах создания нерелятивистской $v \ll c$ квантовой механики. При больших скоростях $v \sim c$ в релятивистской квантовой механике спиновая группа $SU(2)$ расширяется до группы $SL(2, \mathbb{C})$, дважды накрывающей группу Лоренца $SO(1,3)$, с соответствующим расширением внутренних свойств вакуума специальной теории относительности, открывающие нам мир античастиц. Одной из трудностей описания физических свойств $SU(2)$ ($SL(2, \mathbb{C})$)-материи в рамках специальной теории относительности с группой Лоренца, имеющей сингулярность при $v=c$, проявляется в вопросе возможностей движения ее со скоростью $v > c$, что проявляется и при обсуждении скорости передачи (мгновенной?) информации при квантовой телепортации квантовых состояний различной пространственно-временной структуры [1-4].

Из краткого взгляда на этот исторический пример развития от классической механики до релятивистской, от нерелятивистской квантовой механики до релятивистской квантовой механики, вопросы расширения основ как специальной теории относительности, так и квантовой физики возникают в поисках «квантования» $SU(3^c)$ -цветовой кварковой структуры адронов, в частности протон-нейтрона, или найти пространственно-временные аргументы начало существования во вселенной трех поколений кварков-лептонов, как это было решено в случае удвоения мира частиц за счет античастиц?! Несомненно, что успех в решении указанных вопросов даст мощный импульс в расширении методов квантовой телепортации.

Общие проблемы квантовой информации и квантовой физики упираются в вопросы далеко не изученных геометрий многомерных состояний спиновой группы $SU(2)$, а также топологических свойств $SU(n)$ -групповых многообразий $n=3,4,\dots$ [1-4]

В настоящее время особый интерес созрел к возможностям телепортации многомерных

квантовых состояний-кудитов ($d=3,4,\dots$), которая несомненно является сложной задачей, как с точки зрения теории, так и эксперимента, которая соответственно будет использовать создание высококачественной многомерной запутанности кудитов и детерминированное измерение многомерных состояния Белла [5-8]. По сравнению с обычными двухуровневыми системами многомерные состояния могут предложить расширенные возможности, такие как более высокая пропускная способность и устойчивость к помехам в квантовых коммуникациях, более эффективное квантовое моделирование и вычисления, а также большее нарушение неравенства Белла.

Заметим также, что после телепортации двухчастичного составного состояния телепортация многомерных квантовых состояний представляет огромный интерес не только с практической точки зрения, но и открывает возможности наблюдения необычных явлений, основанных на расширении основ самой квантовой физики и ее математического аппарата [1-7].

Вообще, исходной точкой, конечно, является поиск наиболее перспективных протоколов многомерной телепортации [8-11] и возможности их расширения для проникновения на более далекие расстояния без потери качества передаваемой информации. Трудности теоретического плана телепортации и запутанности многомерных спиновых состояний, образующих комплексное проективное пространство $\mathbb{CP}^d$ комплексной размерности $d=2S$, спин $S=1,3/2,2,\dots$, восходят к аналогичным в проблемам квантовой физики кварк-лептонной материи, стремящейся вырваться в многомерное пространство-время, которое могло бы пролить свет на довольно уже большой список открытых в ней вопросов, зафиксированных в ряде понятий о фундаментальных физических величинах, основополагающих заключений о пространстве-времени с его свойствами относительно локальных и глобальных симметрий и, конечно, роли поля комплексных чисел и его самодостаточной связи с физической реальностью.

На этом пути мы уже обсуждали возможности расширения основ квантовой физики микромира [1-4], которые были стимулированы исключительными особенностями 3-х цветовой кварковой структуры адронов (протонов-нейтронов и др.) с учетом запирающего цвета в них, и с возможно необычной новой структурой кварков и лептонов, которая могла бы объяснить возникновение 3-х кварк-лептонных поколений с возможностями открыть единую природу числа цвета N_c и числа поколений $N_g: N_g = N_c = 3(3+1?)$. Нами выбранный путь был связан с поисками

ми новых алгебр и соответствующих им групп симметрий. Первое указание на существование таких алгебр было получено в работах по классификации Калаби-Яу пространств всех размерностей $d=1,2,3,\dots$ [5], которые привели нас к расширению поля комплексных чисел на основе одномерных неприводимых представлений конечных циклических групп C_n ($n>2$). Этот подход соответственно расширил или обобщил значительный набор понятий и результатов, связанных с ними, и прежде всего, таких как Гильбертово пространство, комплексное сопряжение, транспонирование, эрмитовость, унитарность, коммутативность и антикоммутативность, и т.д.

2. Поле бинарных комплексных чисел в квантовой физике

Действительно, весь фундамент современной квантовой физики стоит на теории бинарных комплексных чисел [12-13], которые тесно вошли во множество важнейших физических понятий. Например, понятие частица-электрон и античастица-позитрон на языке соответствующих их волновых функций напрямую связано с операцией бинарного комплексного сопряжения:

$$\psi(e^+) \leftrightarrow \psi(e^-)^*, \quad \psi(e^-)^{**} = \psi(e^-).$$

С открытием античастиц возникла до сих пор неразрешенная проблема о существовании антимира, единственная возможность объяснения которой связывается с открытым нарушением закона сохранения комбинированной пространственной Р-симметрии и зарядовой С-четности, проявляющегося в комплексности зарядовой токовой СКМ-матрицы смешивания 3-х кварковых поколений $SU(2_{EW})$ -дублетов:

$$\begin{pmatrix} u^\alpha \\ d^\alpha \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} c^\alpha \\ s^\alpha \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} t^\alpha \\ b^\alpha \end{pmatrix}_L, \quad (1)$$

В результате такого объяснения существование 3-х кварк-лептонных поколений дает возможность благодаря нарушению СР-комбинированной четности объяснить исчезновение антимира где индекс $\alpha=1,2,3$ обозначает цветовое квантовое число, а L-лево-спиральность кварковых состояний. В результате такого объяснения существование 3-х кварк-лептонных поколений дает возможность благодаря нарушению комбинированной четности объяснить исчезновение антимира (во времена рождения вселенной) через различие распадных времен жизни частиц и анти-частиц, но ставит новый вопрос о том, как возникает это утроение материи вселенной?!

Группа вращений на единичной окружности

$g = \exp(i\alpha) \in S^1$, образующая Абелеву унитарную группу $U(1) \approx S^1$, $U(1)U(1)^* = 1$, может быть связана с локальной калибровочной симметрией квантовой теории электрона $\psi(x)$, в которой электромагнитное поле $A_\mu(x)$ возникает, как компенсирующее поле

$$A_\mu(x) \rightarrow A_\mu(x) + 1/e \partial_\mu \alpha(x),$$

требуемое для инвариантности действия относительно преобразования волновой функции электрона $\psi \rightarrow \exp(i\alpha(x))\psi$ и которая приводит к безмассовости фотона. Инвариантность действия относительно глобальной группы $U(1)$ -преобразований $\psi(x) \rightarrow \exp(i\alpha)\psi(x)$, $A_\mu(x) \rightarrow A_\mu(x)$ приводит к закону сохранения электромагнитного заряда. Алгебра неабелевых комплексных гиперчисел $su(2)$, кватернионов, как оказалось, связана со следующими внешними и внутренними структурами элементарных частиц, с пространственным спином S и изотопическим спином I, соответственно. Кватернионы были введены Гамильтоном, как три единичные не коммутирующие мнимые единицы i, j, k [14], и могут быть представлены в виде 2×2 матриц $e_1 = i\sigma_1$, $e_2 = i\sigma_2$, $e_3 = i\sigma_3$, где σ_k - $k=1,2,3$ матрицы Паули образуют $su(2)$ -коммутационные соотношения:

$$[I_k, I_l] = i\epsilon_{klm} I_m, \quad I_k = 1/2 \sigma_k. \quad (2)$$

Неприводимые представления $su(2)$ -алгебры размерности $(2s+1)$ представляют кубиты $s=1/2$, кутриты $s=1$, куквартиты $s=3/2$ и т.д. Все алгебры $su(n)$ унитарных групп $SU(n)$ высшего ранга строятся на базе простых корней, связанных подалгебрами Картана.

3. Расширение унитарности в теории новых чисел

Решение проблем современной квантовой физики, частично упомянутых выше, и возникающие в, требующие решения объяснения ряда многолетних неразрешенных явлений или свойств частиц, связаны либо с возможными путями расширения 4-х мерного пространства-времени M^{3+1} с соответствующими новыми теориями D=10-мерных суперструн, D=11-мерной супергравитации, D=12-мерной F-теории, либо с поисками новых групп симметрий за пределами групп Ли, которые вообще уходят в изучение многомерных пространств с необычной топологией и с комплексной, келлеровской, гипер-келлеровской и другими внутренними структурами.

Выбранное нами направление [3,5,9,12-14], было связано с расширением теории чисел, точнее теории комплексных чисел, и построения на этой основе новых алгебр и групп, многомерных групповых поверхностей. Обычные комплексные числа связаны с комплексификацией 2-мерной евклидовой плоскости. Наше направление –

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

это комплексификация n -мерных евклидовых пространств R^n :

$$\begin{aligned} \psi(e^+) &\leftrightarrow \psi(e^-)^*, \quad \psi(e^-)^{**} = \psi(e^-). \quad (3) \\ \text{с правилами } (n-1)\text{-операций комплексного сопряжения } q \rightarrow q^{(k)} &= j^k q, k=1, \dots, n-1, j = \exp(2\pi i/n), \text{ соответствующих общим } n\text{-неприводимым одно-} \\ \text{мерным представлениям конечной циклической группы } C_n [9, 12-14]. \text{ Так для тернарного случая} \\ \text{(см. ссылки в [7]) имеем } z(x_0, x_1, x_2) &\in \text{ТС} \\ z &= x_0 q_0 + x_1 q + x_2 q^2, \\ z^\dagger &= x_0 q_0 + j x_1 q + j^2 x_2 q^2, \\ z^{\dagger\dagger} &= x_0 q_0 + j^2 x_1 q + j x_2 q^2 \quad (4) \\ z z^\dagger z^{\dagger\dagger} &= q_0 = 1 \end{aligned}$$

Включение обычного бинарного сопряжения приводит к циклической группе

$$C_3 \otimes C_2 \approx C_6 = \{a, b \mid a^3 = b^2 = aba^{(-1)}b = e, \} \quad (5)$$

Дальнейшее обобщение так введенных циклических комплексных чисел на замкнутую алгебру неабелевых мультипликативных комплексных чисел-мааркрионов с $q_a^n = \pm q_0 = \pm 1$, $a=1, 2, 3, \dots, (n-1)$ осуществляется введением расширенных правил антикоммутации [6]:

$$q_a q_b = j^k q_b q_a, a \neq b, j = \exp(2\pi i/n), \quad (6) \\ n = 2, 3, 4, \dots; k = 1, 2, 3, \dots, n-1.$$

Такие правила коммутации, в соответствующей квантовой теории поля могут привести к обобщению принципа Паули, то есть на одном квантовом уровне могут существовать $n=3, 4, 5$ тождественных частиц. Используя необычные правила антикоммутации мааркрионов [6], мы построили норм-дивизионные алгебры для последующего создания новых неабелевых n -арных алгебр и сопутствующих им n -арных групп $n=3, 4, \dots$ с последующими обобщениями понятий транспонирования, эрмитовости и унитарности. Так условие n -арной унитарности для матрицы U выражается в виде следующего равенства [3-6]:

$$\hat{U} \cdot \hat{U}^\dagger \cdot \hat{U}^{\dagger\dagger} \dots \hat{U}^{\dagger \dots \dagger} + (n - \text{перестановок}) = \hat{I}_n \quad (7)$$

4. Тернарная и квартетная алгебра мааркрионов и группы симметрии

Для случая $n=3$ конструкция мааркрионов основана на паре исходных тернарных мнимых единиц q_1, q_2 и с их общим числом 8 [6]:

$$\begin{aligned} Z &= z_0 q_0 + z_1 q_2 + z_2 q_2^2 = \quad (8) \\ &= (x_0 q_0 + x_7 q_7 + x_8 q_8) + (x_1 q_1 + x_2 q_2 + x_3 q_3) + \\ &\quad + (y_4 q_4 + x_5 q_5 + x_6 q_6) \end{aligned}$$

с возможными следующими условиями нормировки, коммутации и тернарного комплексного сопряжения [6]:

$$q_1^3 = q_2^3 = \pm 1, \quad q_1 q_2 = j q_2 q_1, \quad j = \exp(2\pi i/3), \quad (9) \\ (q_1)^j = j^k q_1, \quad (q_2)^j = j^k q_2$$

Используя необычные правила коммутации, мы построили гиперповерхность, определяемую единичной нормой тернарного гиперкомплексного числа:

$$F(x_0, \dots, x_8) = |z_0|^3 + |z_1|^3 + |z_2|^3 - \quad (10) \\ - z_0 z_1^* z_2^{**} - z_0^{**} z_1 z_2^* - z_0^* z_1^{**} z_2.$$

Единичные тернарно-гиперкомплексные числа порождают неабелеву тернарно-унитарную $STU(3)$ -группу [1-6]. Восемь мнимых единиц-мааркрионов q_a , $a=\{1, \dots, 8\}$, можно представить в виде матриц 3×3 , удовлетворяющих тернарному «транспонированию» и тернарному обобщению эрмитова и унитарного сопряжений: [1-6]:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \omega \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_2 = \omega^2 \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & j \\ j^2 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & j^2 \\ j & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ Q_4 &= \omega^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, Q_5 = \omega \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ j & 0 & 0 \\ 0 & j^2 & 0 \end{pmatrix}, Q_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ j^2 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \end{pmatrix} \\ Q_7 &= \omega^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & j^2 \end{pmatrix}, Q_8 = \omega \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & j^2 & 0 \\ 0 & 0 & j \end{pmatrix} \quad (11) \end{aligned}$$

группа и ее алгебра принципиально отличаются от группы Картана-Ли $SU(3)$ и ее алгебры $su(3)$. Унитарность матрицы $U = \sum x_a Q_a$, $a=0, 1, \dots, 8$, $UU^*U^{\dagger\dagger} = 1$, определяется условием на детерминант:

$$\begin{aligned} U &= \begin{pmatrix} z_0 & z_1 & z_2 \\ z_2^* & z_0^* & z_1^* \\ z_1^{**} & z_2^{**} & z_0^{**} \end{pmatrix}, UU^\dagger U^{\dagger\dagger} = \quad (12) \\ &= \text{Det} U \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \text{Det} U = F(z_0, z_1, z_2) \end{aligned}$$

Эти матрицы удовлетворяют тернарной алгебре с S_3 -групповыми коммутационными соотношениями: $\{Q_a, Q_b, Q_c\}_{S_3} = f_{abcd} Q_n$, где S_3 – группа перестановок из трех элементов. Можно привести [1] тернарные коммутационные соотношения для матриц Q_k , где каждый тройной коммутатор $\{Q_a, Q_b, Q_c\}$, определяемый числами $f_{abcd}(a, b, c, d=0, 1, 2, \dots, 8)$, соответствует только одной матрице Q_d . Для стандартного набора генераторов $\{Q_a, a=1, \dots, 8; \text{Tr} \cdot Q_a = 0\}$ можно ввести коммутатор

$[Q_a, Q_b, Q_c]_t = Q_a Q_b Q_c + j Q_b Q_c Q_a + j^2 Q_c Q_a Q_b$, $\{a, b, c\} = 1, \dots, 8$, (13) относительно которого они образуют тернарную алгебру $tsu(3)$. Мы рассматриваем алгебры q -чисел (Q_a -матриц), построенной на циклических группах C_n , как n -мерное $n=3, 4, 5, \dots$ обобщение кватернионов $n=2$, которые мы называем мааркрионами соответствующего ранга. Так для ранга $n=4$, аналогично можно рассмотреть

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

построение алгебры на базе конструкции C_4 -циклических 16-мааркрионов 4-ранга, принимая за генераторы новой алгебры q_1, q_2 , как исходные тернарные мнимые единицы с условиями нормировки, коммутации и тернарного комплексного сопряжения:

$$q_1^4 = q_2^4 = q_0 = 1 (\text{или } -1), q_1 q_2 = j q_2 q_1, \\ j = \exp(i\pi/2), (q_1)^t = j^k q_1, (q_2)^t = j^p q_2 \quad (14)$$

Для общего квартетного комплексного числа можно рассмотреть следующее выражение

$$Q = z_0(x_0, x_{13}, x_{14}, x_{15}) + z_1(x_1, x_2, x_3, x_4) + \\ + z_2(x_5, x_6, x_7, x_8) + z_3(x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}) \quad (15)$$

$$z_0(x_0, x_{13}, x_{14}, x_{15}) = \sum_a x_a q_a, \quad a=0,13,14,15$$

$$z_1(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_a x_a q_a, \quad a=1,2,3,4$$

$$z_2(x_5, x_6, x_7, x_8) = \sum_a x_a q_a, \quad a=5,6,7,8$$

$$z_3(x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}) = \sum_a x_a q_a, \quad a=9,10,11,12$$

15-мнимых единиц-мааркрионов q_a , $a=\{1, \dots, 15\}$, q_0 -можно представить в виде 4x4 матриц:

$$Q_1 = g \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_2 = g^2 \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^3 \\ j^3 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_3 = g^3 \begin{pmatrix} 0 & j^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j \\ j^2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_4 = \begin{pmatrix} 0 & j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^3 \\ j^2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ Q_5 = g^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^3 \\ j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j^3 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_7 = g^3 \begin{pmatrix} 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^2 \\ j^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_8 = g \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^3 \\ j^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ Q_9 = g^3 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, Q_{10} = g^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & j^3 \\ j^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, Q_{11} = g \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & j^3 \\ j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j & 0 \end{pmatrix}, Q_{12} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & j^2 \\ j^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j & 0 \end{pmatrix} \\ Q_{13} = g^3 \begin{pmatrix} j^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^3 \end{pmatrix}, Q_{14} = g \begin{pmatrix} j^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^2 \end{pmatrix}, Q_{15} = g^2 \begin{pmatrix} j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j^3 \end{pmatrix}, Q_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Q_a^4 = Q_0, \text{tr} Q_a = 0, \text{Det} Q_a = j^2, g^4 = 1. \quad (16)$$

Единичные квартетно-гиперкомплексные числа порождают неабелеву тернарно-унитарную $STU(4)$ -группу. Условие унитарности $UU^\dagger \dots U^{\dagger \dots \dagger} = \hat{1}$ матрицы $U = \sum_a x_a Q_a$, $a=0,1, \dots, 15$ определяется условием на детерминант:

$$U = \begin{pmatrix} z_0 & z_1 & z_2 & z_3 \\ z_3^{(1)} & z_0^{(1)} & z_1^{(1)} & z_2^{(1)} \\ z_2^{(2)} & z_3^{(2)} & z_0^{(2)} & z_1^{(2)} \\ z_1^{(3)} & z_2^{(3)} & z_3^{(3)} & z_0^{(3)} \end{pmatrix}, UU^\dagger U^{\dagger \dagger} U^{\dagger \dagger \dagger} = \text{Det} U \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\text{Det} U = F(z_0, z_1, z_2, z_3), \text{ где } z_a^{(1)} = z_a^*, z_a^{(2)} = z_a^{**}, z_a^{(3)} = z_a^{***}. \quad (17)$$

Найденный метод строительства неабелевых циклических комплексных мааркрионов ранга N на базе двух генераторов q_1, q_2 обобщается на все размерности $N=2,3,4,5,6, \dots$ с их общим числом мнимых единиц и единичным элементом $N^2=4,9,15, \dots$ и группой $NSU(N)$ обобщающей

мультипликативное условие унитарности $UxU^{-1}x \dots U^{-1}x \dots = 1_0$.

5. Бинарный протокол телепортации между удаленными спиновыми центрами

Любая эффективная схема телепортации произвольных многомерных квантовых состояний начинается с описания протокола телепортации.

Чтобы обсудить связь многомерных состояний Белла с алгеброй мааркрионов и новыми симметриями, перечислим основные заповеди детерминированной квантовой телепортации исходя уже из достигнутых результатов.

А) Синхронизация в управлении NV центров в двух удаленных образцах алмазов.

Электронные спины двух NV могут быть подготовлены в $|0\rangle = m_s = 0$ с помощью оптической спиновой накачки на переходах $E_{1,2}$. Однократное считывание спина электрона выполняется с помощью спин-разрешающего оптического возбуждения E_y , обнаруживающего флуоресценцию из фононной боковой полосы (БФП) NV центра. Спектрально разделенная эмиссия нулевой фононной линии (НФЛ) используется для создания удаленной запутанности с помощью двух-фотонной квантовой интерференции на светоделителе. Высокая достоверность манипуляции между $|0\rangle$ и $|1\rangle \equiv m_s = -1$ достигается с помощью микроволновых (МВ) импульсов. Исходным кубитом является ядерный спин ^{14}N , с базисными состояниями $|0\rangle \equiv m_I = 0$ и $|1\rangle \equiv m_I = -1$, определенных в многообразии $m_s = -1$. Его можно инициализировать с помощью проективных измерений и управлять им с помощью радиочастотных (РЧ) импульсов.

Б) Этапы телепортации: от спин-спиновой запутанности к телепортации.

(1) Использование электронного спина и оптических п-импульсов два электронных спина готовятся в запутанном состоянии с использованием протокола Баррет-Кока. путем обнаружения неразличимых фотонов ZPL=НФЛ от обоих NV центров, интерферирующих на светоделителе.

(2) Спин ядра азота готовится в исходном состоянии $|\psi\rangle = \alpha_0|0\rangle + \alpha_1|1\rangle$.

(3) Выполняется на кубитах Анны двухкубитное измерение состояния Белла. Результат измерения состояний Белла в режиме реального времени передается Ивану.

(4) В зависимости от результата измерения Иван выполняет вращение базиса.

В стандартной кубитной $(2_{\text{AB}} + 1_{\text{A}})$ -схеме квантовой телепортации NV центр проявляет свои квантовые $SU(2)$ -спиновые свойства, демон-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

стрируя фотолюминесценцию при возбуждении видимым светом и проявляя себя стабильным однофотонным излучателем. Электронный спин NV центра можно инициализировать и считывать оптически в обычных условиях даже при комнатной температуре. Недавние важные достижения показывают, что ядерные спины, взаимодействующие с электронным спином NV, могут использоваться в качестве кубитов, открывая возможность для создания локальных многокубитных квантовых регистров. Кроме того, при криогенных температурах электронный спин может когерентно взаимодействовать с фотонами, что позволяет связывать такие регистры с макроскопическими сетями. Электронный спин NV центра может служить центральным кубитом регистра ядерного спина, и его можно использовать как оптический интерфейс к этому регистру. Генерация запутанности между удаленными двумя электронными спинами NV-центров происходит через квантовую интерференцию и измерение неразличимых одиночных фотонов от NV-центров, которое проецирует спины в состояние Белла. На основе комбинирования дистанционной запутанности с локальным измерением состояния Белла возможно осуществление детерминированной квантовой телепортации между удаленными спиновыми кубитами, в которой состояние кубита с ядерным спином телепортируется на электронный спин, удаленный на макроскопическое расстояние.

Известно, что для одиночного кубита наиболее общей формой матрицы плотности ρ является 2×2 матрица, полученная как из матриц Паули ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) и единичной матрицы (I_0) с действительными коэффициентами ($\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$):

$$\rho = \frac{1}{2}(I_0 + \alpha_x \sigma_x + \alpha_y \sigma_y + \alpha_z \sigma_z) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \alpha_z & \alpha_x - i\alpha_y \\ \alpha_x + i\alpha_y & 1 - \alpha_z \end{pmatrix}, |\vec{\alpha}|^2 \leq 1. \quad (18)$$

Чистые состояния $\text{Tr}(\rho^2) = 1$ представлены точками на сфере Пуанкаре-Блоха, и в этом случае

$$|\vec{\alpha}|^2 = \alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2 = 1.$$

Нечистые состояния изображаются точками внутри сферы, $\text{Tr}(\rho^2) \leq 1$. Заметим, что матрица плотности для одного кубита строится из 2×2 -единичной матрицы I_0 и генераторов спиновой алгебры $\text{su}(2)$:

$$I_1 = \frac{1}{2}i\sigma_x = \frac{1}{2}i \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, I_2 = \frac{1}{2}i\sigma_y = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, I_3 = \frac{1}{2}i\sigma_z = \frac{1}{2}i \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (19)$$

с коммутационными соотношениями алгебры $\text{su}(2)$:

$$[I_k, I_l] = i\epsilon_{klm} I_m.$$

Состояния из двух кубитов

$$|\psi\rangle = a_{00}|00\rangle + a_{01}|01\rangle + a_{10}|10\rangle + a_{11}|11\rangle, \quad (20)$$

с условием нормировки

$$|a_{00}|^2 + |a_{01}|^2 + |a_{10}|^2 + |a_{11}|^2 = 1$$

расширяют $\text{SU}(2)$ -геометрию однокубитных состояний

$$|\psi_{ij}\rangle (\omega = \exp(i\pi/2)):$$

до Гильбертового пространства в четырехмерном комплексном многообразии $H \subset C^4$, в котором состояния $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle$ и $|11\rangle$ образуют базис:

$$\begin{aligned} |00\rangle &\rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T, |01\rangle \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T, \\ |10\rangle &\rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}^T, |11\rangle \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T. \end{aligned} \quad (21)$$

Кватернионы, $\{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$ и σ_0 , (соответствие индексов $x \rightarrow 1, y \rightarrow 2, z \rightarrow 3$), открытые в бинарной теории гиперкомплексных чисел, связанные с открытиями на уровне теории чисел, алгебры $\text{su}(2)$ и группы $\text{SU}(2)$ соответственно, в двухкубитовой системе открывают и новый тип коррелированных запутанных состояний. Так в двухкубитовой $\text{SU}(2)$ -унитарной системе из рассмотренных выше 4-х состояний можно построить ортонормированный базис, соответствующий 4-м квантовым состояниям Белла:

$$|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \nu' \sigma_0 \nu = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle, |1\rangle) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |0\rangle \\ |1\rangle \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle), \quad (22)$$

$$|\Phi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \nu' \sigma_3 \nu = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle, |1\rangle) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |0\rangle \\ |1\rangle \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle - |11\rangle), \quad (23)$$

$$|\Psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \nu' \sigma_1 \nu = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle, |1\rangle) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |0\rangle \\ |1\rangle \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle + |10\rangle), \quad (24)$$

$$|\Psi^-\rangle = \frac{i}{\sqrt{2}} \nu' \sigma_2 \nu = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle, |1\rangle) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |0\rangle \\ |1\rangle \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|01\rangle - |10\rangle), \quad (25)$$

возникновение которых имеют тесную связь с матрицами Паули $\{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$ и единичной матрицей σ_0 . Наша цель представить аналогичную связь между базисом мультинарных n -мааркрионов и d -мерного базиса Белла для состояний, начиная с кутрита и выше.

Для безопасного обмена информацией на удаленных друг от друга дистанциях (см. рисунок 1), Анна и Иван создают пару запутанных частиц, двухкубитное состояние Белла, частица $1 \rightarrow |a\rangle$ и частица $2 \rightarrow |b\rangle$, третий участник, Петр, передает через Анну Ивану секретное сообщение, закодированное в состоянии частицы $3 \rightarrow |c\rangle$. Решение для Анны состоит в том, чтобы выполнить совместное измерение на своей половине состояния Белла, частица $1 \rightarrow |a\rangle$, и на состоянии, данном Петром, частица $3 \rightarrow |c\rangle$, и затем полученный результат измерения отправить Ивану по классическому канал связи.

В типичной схеме, на вход которой поступают две частицы в чистом состоянии

$$|\Omega_{ab}\rangle_m = |a\rangle|b\rangle, \quad |a\rangle, |b\rangle \in \{|0\rangle, |1\rangle\},$$

в результате последовательного 2-х этапного действия, вентиля Адамара и управляющего вентиля CNOT, создается пара запутанных

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

частиц, соответствующей одному из 4-х максимально запутанных состояний Белла

$$|\Omega_{ab}\rangle_{\text{out}}, ab=00,01,10,11:$$

$$|\Omega_{00}\rangle_{\text{in}} \rightarrow |\Omega_{00}\rangle_{\text{out}} = |\Phi^+\rangle, |\Omega_{10}\rangle_{\text{in}} \rightarrow |\Omega_{10}\rangle_{\text{out}} = |\Phi^-\rangle, \\ |\Omega_{01}\rangle_{\text{in}} \rightarrow |\Omega_{01}\rangle_{\text{out}} = |\Psi^+\rangle, |\Omega_{11}\rangle_{\text{in}} \rightarrow |\Omega_{11}\rangle_{\text{out}} = |\Psi^-\rangle. \quad (26)$$

Рассмотрим случай двухкубитного входного состояния

$$|u\rangle = |00\rangle: |a\rangle = |0\rangle, |b\rangle = |0\rangle, \alpha=1, \beta=0, \gamma=1, \delta=0$$

Для генерации запутанного состояния предназначены две операции:

$$|u\rangle = |a\rangle \otimes |b\rangle \rightarrow |u'\rangle = |a'\rangle \otimes |b'\rangle = (\hat{H}_{ad} \otimes I) \left(\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |10\rangle) \quad (27)$$

Второй этап, действие вентиля CNOT с входом

$$|u'\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |10\rangle)$$

и выходом

$$|u''\rangle = \hat{H}_{CNOT} |u'\rangle = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle) \quad (28)$$

На практике, Анна и Иван – два NV центра в образцах алмазов, охлажденных до температур жидкого гелия, расположенных в двух разных дистанционно разделенных установках конфокальных микроскопов:

Базисные спин-электронные состояния выбираются следующие:

$$|0\rangle = |m_s = 0\rangle \text{ и } |1\rangle = |m_s = -1\rangle.$$

Для азота N спин

$$I=1: |0\rangle = |m_I = 0\rangle \text{ и } |1\rangle = |m_I = -1\rangle.$$

При задании совместных квантовых состояний первым кубитом (1) является электронный спин на узле А, вторым (2) – электронный спин на узле В, а третьим (3) – спин ядра азота на узле С, следовательно, телепортация должна выполняться из кубита 3 в кубит 2.

1) Исходный кубит – ядерный спин азота ^{14}N на стороне NV-центра Анны.

2) Запутанная пара (Белл), созданная на стороне Анны и Ивана с помощью двух NV электронных спинов.

3) Обе установки могут работать независимо: спины могут быть просто одиночно считаны спин-разрешающим оптическим возбуждением и управляются индивидуально с помощью микроволнового (МВ) и радиочастотного (РЧ) импульсов, подаваемых через полосковые линии на кристалле.

4) Удаленная запутанность между двумя спинами электронов NV может быть создана с помощью квантовой интерференции неразличимых фотонов, идущих на светоделитель от бесфоновых

линий (НФЛ). Для создания таких фотонов необходимо резонансно настраивать E_v -переход, как на стороне Анны, так и на стороне Ивана. Такие переходы осуществляются на основе эффекта Штарка постоянного тока подачей напряжения на встроенный электрод затвора.

5) Затем объявленная запутанность генерируется интерференцией и измерением фотонов НФЛ от E_v -переходов, которые коррелируют со спин-электронными состояниями Анны и Ивана.

$$|\psi_0\rangle_C \otimes |\Phi^+\rangle_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\alpha|0\rangle_C + \beta|1\rangle_C)(|00\rangle_{AB} + |11\rangle_{AB})] = \quad (29)$$

$$= \frac{1}{2} (|\Phi^+\rangle_{CA} |\psi_0\rangle_B + |\Phi^-\rangle_{CA} |\psi_1\rangle_B + |\Psi^+\rangle_{CA} |\psi_2\rangle_B + |\Psi^-\rangle_{CA} |\psi_3\rangle_B)$$

где

$$|\psi_0\rangle_B = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, |\psi_1\rangle_B = \alpha|0\rangle - \beta|1\rangle, \\ |\psi_2\rangle_B = \alpha|1\rangle + \beta|0\rangle, |\psi_3\rangle_B = \alpha|1\rangle - \beta|0\rangle. \quad (30)$$

Итак, пусть частицы Анны и Ивана, частица 1 и частица 2 находятся в максимально запутанном состоянии

$$|\Phi^+\rangle_{12} = 1/\sqrt{2} (|00\rangle + |11\rangle)_{12} \quad (31)$$

и «частица 3» находится в состоянии

$$|\varphi\rangle_3 = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \text{ с } |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1. \quad (32)$$

Совместное состояние частицы 3 и запутанное состояние частиц 1,2, $|\Phi^+\rangle_{12}$, является вектором в 8-мерном гильбертовом пространстве H^8 :

$$|\xi\rangle = |\varphi\rangle_3 \otimes |\Phi^+\rangle_{12} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\alpha \ 0 \ 0 \ \alpha \ \beta \ 0 \ 0 \ \beta)^T \quad (33)$$

или

$$|\xi\rangle = 1/\sqrt{2} (\alpha|000\rangle + \alpha|011\rangle + \beta|100\rangle + \beta|111\rangle)_{312}. \quad (34)$$

Анна выполняет две операции над двумя имеющимися у нее кубитами 3 и 1, частицей Петра и своей половины запутанной пары. Сначала она применяет к паре CNOT; используя кубит Петра в качестве контроля (контрольный кубит), а свой собственный в качестве цели (целевой кубит):

$$|\varsigma\rangle = (G_{CNOT} \otimes I)(\xi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} (\alpha \ 0 \ 0 \ \alpha \ \beta \ 0 \ 0 \ \beta)^T \quad (35)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} (\alpha \ 0 \ 0 \ \alpha \ 0 \ \beta \ \beta \ 0)^T$$

Или

$$|\varsigma\rangle = 1/\sqrt{2} (\alpha|000\rangle + \alpha|011\rangle + \beta|101\rangle + \beta|110\rangle)_{312}. \quad (36)$$

Затем Анна измеряет первый кубит, оставляя второй, запутанный с кубитом Ивана, нетронутым. Это означает, что она применяет к $|\varsigma\rangle$ преобразование $H \otimes I \otimes I$:

$$|\xi\rangle = H \otimes I \otimes I(\varsigma) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} (\alpha \ 0 \ 0 \ \alpha \ 0 \ \beta \ \beta \ 0)^T \\ = \frac{1}{2} (\alpha \ \beta \ \beta \ \alpha \ \alpha \ -\beta \ -\beta \ \alpha)^T \quad (37)$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$|\xi\rangle = \frac{1}{2}[\alpha(|000\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |111\rangle) + \beta(|001\rangle + |010\rangle - |101\rangle - |110\rangle)] \quad (38)$$

Измерение на паре (1 и 3) меняет состояние частицы 2 в одно из четырех состояний: S1, S2, S3, S4. Выделяя в состоянии $|\xi\rangle$ первые два кубита, его общее выражение разбивается на 4-е двух-кубитные состояния и образованные искомыми 4-х однокубитные состояния:

$$|\xi\rangle = \frac{1}{2}[\alpha(|00\rangle(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) + |01\rangle(\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle) + |10\rangle(\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle) + |11\rangle(\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle)] \quad (39)$$

Следуя этому представлению 8-мерного состояния, Анна производит совместное измерение двух своих кубитов, в результате которого она с равной вероятностью получает одно из 4-х состояний: $|00\rangle$, $|01\rangle$, $|10\rangle$, $|11\rangle$. Затем она посылает Ивану по классическому каналу связи результат 00, 01, 10 или 11. При этом, измерение, выполненное Анной, переводит кубит, которым владеет Иван, в одно из четырех состояний

$$\begin{aligned} |00\rangle &\rightarrow (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle), & |01\rangle &\rightarrow (\beta|0\rangle + \alpha|1\rangle), \\ |10\rangle &\rightarrow (\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle), & |11\rangle &\rightarrow (\beta|0\rangle - \alpha|1\rangle). \end{aligned} \quad (40)$$

В зависимости от результата, полученного канала Анны классическим каналом, Иван, применяя к своему кубиту уже известное ему преобразование из 4-х возможных I, X, Y, Z,

$$00 \Rightarrow \hat{I} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, 10 \Rightarrow \hat{X} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, 11 \Rightarrow \hat{Y} = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, 01 \Rightarrow \hat{Z} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad (41)$$

добивается перехода преобразованного кубита 2 в то же состояние, что и первоначальный кубит Петра 3. Отметим, что так как состояние кубита Петра было изменено, теорема о запрете клонирования не нарушается.

6. Алгебры комплексных NC^N пространств и этапы многомерной телепортации

Квантовая телепортация, позволяющая передавать неизвестные квантовые состояния из одного места в другое, естественным путем может быть распространена на многоуровневые системы, которые позволяют создавать многомерные системы. Рассмотрим протокол телепортации трехмерных квантовых состояний. Анна хочет телепортировать к Ивану квантовое состояние (состояние 1, рисунок 1), закодированное в моде:

$$|\varphi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle + \gamma|2\rangle \quad (42)$$

где $|0\rangle, |1\rangle, |2\rangle$ обозначают степень свободы. Комплексные коэффициенты α, β, γ удовлетворяют условию нормировки

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2 = 1$$

Анне и Ивану изначально нужно разделить многомерное пространство запутанной пары состояний (2 и 3):

$$|\xi\rangle_{23} = (|00\rangle_{23} + |11\rangle_{23} + |22\rangle_{23}) / \sqrt{3}. \quad (43)$$

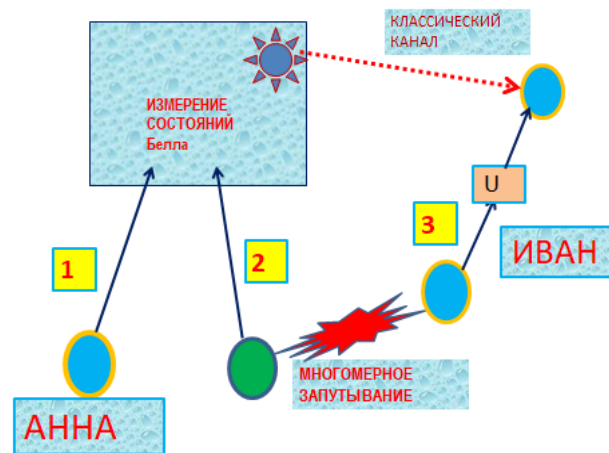


Рис. 1. Схема квантовой телепортации многомерных состояний одиночного фотона.

Анна желает телепортировать многомерное квантовое состояние 1 Ивану. Анна и Иван имеют трехмерную пару запутанных состояний 2-3. Затем Анна выполняет многомерное измерение состояния Белла и отправляет результаты Ивану по классическому каналу. Согласно результатам измерения, Иван применяет соответствующие трехмерные операции к состоянию 3, которые преобразуют его в исходное состояние 1. Затем Анна выполняет двухчастичное измерение 1 и 2, которое проецирует на одно из $d^2=9$ ортогональных трехмерных состояний Белла $|\psi_{ij}\rangle$:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} |\psi_{00}\rangle \\ |\psi_{10}\rangle \\ |\psi_{20}\rangle \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & j^2 \\ 1 & j^2 & j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |00\rangle \\ |11\rangle \\ |22\rangle \end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix} |\psi_{01}\rangle \\ |\psi_{11}\rangle \\ |\psi_{21}\rangle \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & j^2 \\ 1 & j^2 & j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |01\rangle \\ |12\rangle \\ |20\rangle \end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix} |\psi_{02}\rangle \\ |\psi_{12}\rangle \\ |\psi_{22}\rangle \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & j^2 \\ 1 & j^2 & j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |02\rangle \\ |10\rangle \\ |21\rangle \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (44)$$

Комбинированное состояние $|\xi\rangle_{23} |\varphi\rangle_1$ кубитовых состояний 1, 2 и 3:

$$\begin{aligned} |\varphi\rangle_1 &= \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle + \gamma|2\rangle, \\ |\xi\rangle_{23} &= 1/\sqrt{3}(|00\rangle + |11\rangle + |22\rangle) \end{aligned}$$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

в терминах базисных состояний девяти ортогональных трехмерных состояний Белла, можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} |\xi\rangle_{23} \otimes |\varphi\rangle_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}}(|00\rangle_{23} + |11\rangle_{23} + |22\rangle_{23}) \otimes (\alpha|0\rangle_1 + \beta|1\rangle_1 + \gamma|2\rangle_1) = \\ &= \frac{1}{3} \sum_{k=0,1,2} \sum_{p=0,1,2} |\psi_{pk}\rangle_{12} \otimes Q_{pk} |\varphi\rangle_3 = \sum_{p,k=0,1,2} |\psi_{pk}\rangle_{12} \otimes Q_{pk} |\varphi\rangle_3 = \\ &= \frac{1}{3} (|\psi_{00}\rangle_{12} \otimes Q_{00} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{10}\rangle_{12} \otimes Q_{10} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{20}\rangle_{12} \otimes Q_{20} |\varphi\rangle_3) \quad (45) \\ &\frac{1}{3} (|\psi_{01}\rangle_{12} \otimes Q_{01} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{11}\rangle_{12} \otimes Q_{11} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{21}\rangle_{12} \otimes Q_{21} |\varphi\rangle_3) \\ &\frac{1}{3} (|\psi_{02}\rangle_{12} \otimes Q_{02} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{12}\rangle_{12} \otimes Q_{12} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{22}\rangle_{12} \otimes Q_{22} |\varphi\rangle_3) \end{aligned}$$

где трехмерные матрицы Q_{mn} :

$$\begin{aligned} Q_{00} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, Q_{10} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & j^2 \end{pmatrix}, Q_{20} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & j^2 & 0 \\ 0 & 0 & j \end{pmatrix} \\ Q_{01} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, Q_{11} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & j^2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \end{pmatrix}, Q_{21} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & j \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & j^2 & 0 \end{pmatrix} \\ Q_{02} &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_{12} = \begin{pmatrix} 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & j^2 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, Q_{22} = \begin{pmatrix} 0 & j^2 & 0 \\ 0 & 0 & j \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ Q_{00} &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, Q_{10} = g^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & j^2 \end{pmatrix}, Q_{20} = g \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & j^2 & 0 \\ 0 & 0 & j \end{pmatrix} \quad (46) \end{aligned}$$

Протокол телепортации куквартита. Аналогично, на основе матричных реализаций неабелевых циклических комплексных чисел, мааркрионов n -размерности можно представить протоколы для телепортации кудитов любой размерности $d=n$. Так, если Анна хочет телепортировать к Ивану квантовое состояние куквартита $d=4$, закодированное в моде:

$$|\varphi\rangle = 1/2(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle + \gamma|2\rangle + \delta|3\rangle). \quad (47)$$

Комплексные коэффициенты $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ удовлетворяют условию нормировки

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2 + |\delta|^2 = 1.$$

Анне и Ивану изначально нужно разделить многомерное пространство запутанной пары $d=4$ куквартитных состояний (2 и 3):

$$|\xi\rangle_{23} = (|00\rangle_{23} + |11\rangle_{23} + |22\rangle_{23} + |33\rangle_{23})/2. \quad (48)$$

Затем Анна выполняет двухчастичное измерение, 1 и 2, которое проецирует на одно из $d^2=16$ ортогональных 4-х мерных состояний Белла

$$|\psi_{ij}\rangle = (\omega = \exp(i\pi/2)):$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} |\psi_{00}\rangle \\ |\psi_{10}\rangle \\ |\psi_{20}\rangle \\ |\psi_{30}\rangle \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 & \omega^3 \\ 1 & \omega^2 & \omega^3 & \omega \\ 1 & \omega^3 & \omega & \omega^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |00\rangle \\ |11\rangle \\ |22\rangle \\ |33\rangle \end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix} |\psi_{01}\rangle \\ |\psi_{11}\rangle \\ |\psi_{21}\rangle \\ |\psi_{31}\rangle \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 & \omega^3 \\ 1 & \omega^2 & \omega^3 & \omega \\ 1 & \omega^3 & \omega & \omega^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |01\rangle \\ |12\rangle \\ |23\rangle \\ |30\rangle \end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix} |\psi_{02}\rangle \\ |\psi_{12}\rangle \\ |\psi_{22}\rangle \\ |\psi_{32}\rangle \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 & \omega^3 \\ 1 & \omega^2 & \omega^3 & \omega \\ 1 & \omega^3 & \omega & \omega^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |02\rangle \\ |13\rangle \\ |20\rangle \\ |31\rangle \end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix} |\psi_{03}\rangle \\ |\psi_{13}\rangle \\ |\psi_{23}\rangle \\ |\psi_{33}\rangle \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 & \omega^3 \\ 1 & \omega^2 & \omega^3 & \omega \\ 1 & \omega^3 & \omega & \omega^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |03\rangle \\ |10\rangle \\ |21\rangle \\ |32\rangle \end{pmatrix}. \quad (49) \end{aligned}$$

Комбинированное состояние $|\xi\rangle_{23} |\varphi\rangle_1$ состояний 1,2,3 и 4 в терминах базисных состояний 16 ортогональных 4-х мерных состояний Белла, можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} |\xi\rangle_{23} \otimes |\varphi\rangle_1 &= \frac{1}{\sqrt{3}}(|00\rangle_{23} + |11\rangle_{23} + |22\rangle_{23} + |33\rangle_{23}) \otimes (\alpha|0\rangle_1 + \beta|1\rangle_1 + \gamma|2\rangle_1 + \delta|3\rangle_1) = \\ &= \frac{1}{4} \sum_{k=0,1,2,3} \sum_{p=0,1,2,3} |\psi_{pk}\rangle_{12} \otimes Q_{pk} |\varphi\rangle_3 = \sum_{p,k=0,1,2,3} |\psi_{pk}\rangle_{12} \otimes Q_{pk} |\varphi\rangle_3 = \\ &= \frac{1}{4} (|\psi_{00}\rangle_{12} \otimes Q_{00} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{10}\rangle_{12} \otimes Q_{10} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{20}\rangle_{12} \otimes Q_{20} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{30}\rangle_{12} \otimes Q_{30} |\varphi\rangle_3) \\ &+ \frac{1}{4} (|\psi_{01}\rangle_{12} \otimes Q_{01} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{11}\rangle_{12} \otimes Q_{11} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{21}\rangle_{12} \otimes Q_{21} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{31}\rangle_{12} \otimes Q_{31} |\varphi\rangle_3) \\ &+ \frac{1}{4} (|\psi_{02}\rangle_{12} \otimes Q_{02} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{12}\rangle_{12} \otimes Q_{12} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{22}\rangle_{12} \otimes Q_{22} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{32}\rangle_{12} \otimes Q_{32} |\varphi\rangle_3) \\ &+ \frac{1}{4} (|\psi_{03}\rangle_{12} \otimes Q_{03} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{13}\rangle_{12} \otimes Q_{13} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{23}\rangle_{12} \otimes Q_{23} |\varphi\rangle_3 + |\psi_{33}\rangle_{12} \otimes Q_{33} |\varphi\rangle_3) \quad (50) \end{aligned}$$

Все представленные результаты для $d=3,4$ легко обобщаются на любую размерность кудитов:

$$d = 3, 4, 5, \dots \rightarrow \infty.$$

Литература

1. Царьков А.Н., Смуров С.В., Волков Г.Г., Масликов А.А., Капитонов И.Ю. Симметрично-групповые расширения аксиом квантовой физики в динамике квантовых спиновых систем // Известия Института инженерной физики, 2019. №1(54). С.84-92.
2. Волков Г.Г., Смуров С.В., Царьков А.Н. Многомерные комплексные проективные пространства в квантовой физике и квантовой информации // Известия Института инженерной физики, 2020. №4(58). С.84-94.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

3. Смуров С.В., Волков Г.Г., Столбов С.Н., Царьков А.Н. Новые симметрии многомерной геометрии в квантовой физике и квантовой информации// Известия Института инженерной физики, 2020. №3(57). С.85-94.
4. Maslikov A., Volkov G. Ternary $SU(3)$ -group symmetry and its possible applications in hadron-quark substructure. Towards a new spinor-fermion structure Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics (Baldin ISHEPP XXIV) Dubna, Russia, Sept 17-22, 2018 EPJ Web of Conf. V.204. 2019.
5. Volkov G. Hunting for the New Symmetries in Calabi-Yau Jungles, Int.J. Mod. Phys A19 (2004) 4835-4860, hep-th/0402042.
6. Volkov G. Ternary «Quaternions» and Ternary $TU(3)$ algebra arXiv:1006.5627 (2010).
7. Lipatov L.N., Rausch de Traubenbergn M., Volkov G. On the ternary complex analysis and its applications J. Math. Phys. 49 013502 (2008).
8. Bennett C.H., Brassard G., Crepeau C., Jozsa R., Peres A., Wootters W.K. Phys. Rev. Lett. 70, 1895 (1993).
9. Yi-Han Luo, Han-Sen Zhong, Manuel Erhard, Xi-Lin Wang, Li-Chao Peng, Mario Krenn, Xiao Jiang, Li Li, Nai-Le Liu, Chao-Yang Lu, Anton Zeilinger and Jian-Wei Pan. Квантовая телепортация в высоких измерениях.
10. Xiao-Min Hu, Chao Zhang, Bi-Heng Liu, Yu Cai, Xiang-Jun Ye, Yu Guo, Wen-Bo Xing, Cen-Xiao Huang, Yun-Feng Huang, Chuan-Feng Li, and Guang-Can Guo Experimental high-dimensional quantum teleportation arXiv:1904.12249v2 [quant-ph] 8 Dec 2020.
11. Dan C. Marinescu and Gabriela M. Marinescu Lectures on Quantum Computing Computer Science Department University of Central Florida October 13, 2003.
12. V. Samoylenko and G.Volkov The GUT of the light: On the Abelian Complexifications of the Euclidean R_n spaces arXiv:0912.2037 (2009).
13. G. Volkov. On the complexifications of the Euclidean R_n spaces and the n -dimensional generalization of Pythagore theorem arXiv:1006.5630(2010).
14. Смуров С.В., Кукин Н.С., Волков Г.Г., Мурадова А.Р., Глотова И.О. Введение в геометрию N -арных комплексных чисел// Известия Института инженерной физики, 2016. №2(40). С. 74-82.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.89

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОСТРОЕНИЯ 2D КАРТ ГЛУБИНЫ ДОРОЖНЫХ СЦЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ MIDAS QUALITY ASSESSMENT OF ROADS 2D DEPTH MAPS CONSTRUCTED USING MIDAS LIBRARY

Кирилл Алексеевич Блинов

магистрант

НИТУ «МИСИС»

Адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-т., д. 4

Тел.: +7 (903) 393-31-49

E-mail: skips0skips@mail.ru

Евгений Михайлович Иванин

магистрант

НИТУ «МИСИС»

Тел.: +7 (987) 200-69-40

E-mail: ivanineu@yandex.ru

Бушра Али

аспирант

НИТУ «МИСИС»

Тел.: +7 (499) 236-25-35

E-mail: bushrayehyaali@gmail.com

Андрей Игоревич Широков

доцент кафедры инженерной кибернетики

НИТУ «МИСИС»

Тел.: +7 (499) 236-25-35

E-mail: shirokov.ai@misis.ru

Алексей Александрович Коробков

почётный работник науки и

высоких технологий Российской Федерации

кандидат технических наук, доцент

начальник научно-методического управления

АНО «Институт инженерной физики»

Адрес: 142210, Московская обл., г.о. Серпухов,

г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1А, стр. 1

Тел.: +7 (496) 735-31-93

E-mail: korobkow@iifmail.ru

Аннотация

Использование монокамеры для оценки глубины сцены стало одним из трендов последнего времени. В данной работе проведены результаты исследований оценки качества карт глубины, построенных с помощью библиотеки MiDaS с эталонными данными на основе метрик коэффициента изменения и абсолютной ошибки.

Ключевые слова: библиотека MiDaS, карта глубины, лидар, нейронная сеть, оценка глубины.

Summary

The use of a mono camera to assess the depth of a scene has become one of the trends in recent times. In this paper, an empirical study was conducted to assess the quality of depth maps constructed with the MiDaS library, based on an estimate of the coefficient of change and a measure of data variation – the mean absolute error.

Keywords: MiDaS library, depth map, lidar, neural network, depth estimation.

Введение

Развитие робототехники [1], автомобилей с автопилотом [2, 3], систем виртуальной реальности [4] и других технологий [5-7] привели к совершенствованию методов построения карт глубины на основе глубоких нейронных сетей и машинного обучения. Несмотря на то, что существуют технологии для измерения расстояния с помощью инфракрасного или лазерного излучения [8], высокая стоимость таких приборов, относительно доступных монокулярных камер, привлекает многие компании проводить исследования по использованию решений, основанных на нейронных сетях. В отличие от датчиков, нейронные сети используют алгорит-

мический подход и предсказывают глубину сцены, основываясь на результатах обучения [9]. В настоящее время существует множество методов реализующих построение карт глубины [10].

Библиотека *MiDaS*, опубликованная в 2019 году, является публично доступной, что позволяет проводить исследования ее точности для различных приложений [11].

Чтобы оценить качество построения карт глубины в дорожной среде было проведено исследование, основанное на оценке модели *MiDaS* с использованием показателя средней абсолютной ошибки (от англ.: *mean absolute error (MAE)*), коэффициента изменения (от англ.: *coefficient of change (COC)*).

1. Архитектура

Сеть *MiDaS* основана на архитектуре *ResNet* с прямой связью (a), которая генерирует много-масштабные карты объектов; *b* – блок многомасштабного объединения признаков; *c* – модуль остаточных связей для повышения текучести градиентов; *d* – адаптивный модуль свертки, который регулирует каналы карт признаков и конечный выход. Архитектура нейронной сети представлена на рисунке 1.

2. Метрики для оценки точности

Существующие в настоящее время наборы данных с известной картой глубины невелики по масштабу. Так, *middlebury stereo dataset* дает оценки глубины только для 12-ти изображений, сделанных в лабораторных условиях [12], в то время как набор данных *Make3D* рассматривает более реалистичные сценарии (предоставляется 500 изображений небольшого разрешения [13]).

Набор данных *KITTI*, содержит изображения с камеры и данные лидара [14]. Лидарные данные получены с 64-слойного лазерного сканера

с частотой вращения 10 Гц. При проецировании на изображение измерения глубины охватывают примерно 5% изображения.

Несмотря на недостатки данного датасета: шум, создаваемый лазерным сканированием и артефактами из-за перекрытий (например, камера засвечивается лучом от солнца, или объект сцены закрывает область сканирования) или наличием прозрачных поверхностей в сцене [15], набор данных *KITTI* охватывает широкий спектр сцен (город и пригородные районы), а также удовлетворяет требованиям хорошей освещенности.

Для оценки качества карты глубины, созданной с помощью нейронной сети, используются изображения, на которых каждый пиксель содержит информацию о глубине объекта сцены. Интенсивность пикселя определяется целым числом в диапазоне от 0 до 255, где 0 – это точка (черный цвет) глубина которой неизвестна, а 255 – интенсивность соответствующая максимально возможной дальности до объекта, измеренная лидаром. Для оценки точности используется метрика *MAE* равная сумме модулей разности между двумя дальностями, полученными от лидара и нейросети. Если оценка стремится к нулю, это означает, что модель точно определила расстояние до объекта:

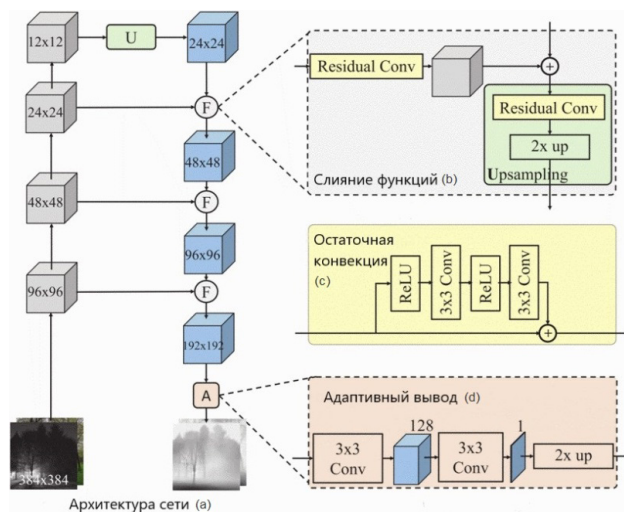
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_{ij} - v_{ij}|, \quad (1)$$

где y_{ij} – измерения дальности, полученные по данным лидара;

v_{ij} – измерения, полученные по данным нейронной сети;

N – количество пикселей изображения, в которых доступны измерения.

Коэффициент изменения *COC* показывает среднее число, на которое необходимо умножить значение дальности, заложенное в конкретной точке изображения, чтобы изображение, полученное с модели, было максимально близко к значениям лидара. Расчет коэффициента производится по формуле:



Архитектура сети (a)

Рис. 1. Иллюстрация архитектуры сети

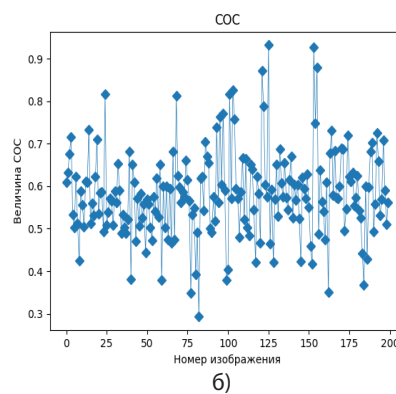
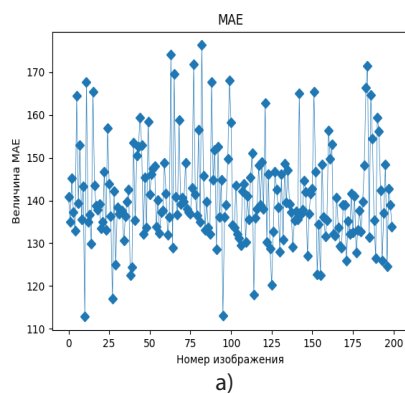


Рис. 2. Результаты измерений *MAE* (a), *COC* (б) модели *MiDaS*

$$COC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{y_{ij}}{v_{ij}}. \quad (2)$$

3. Результаты оценки точности

На основе тысячи тестовых изображений из датасета KITTI были получены следующие показатели точности. Некоторые из этих результатов, взятых из выборки в количестве 200 единиц, представлены на *рисунке 2*. Для того чтобы дать оценку полученным данным была проанализирована соревновательная таблица датасета KITTI, где представлены одни из самых передовых моделей оценки глубины. Среднее значение MAE из соревновательной таблицы варьируется от 100 до 250 единиц.

Среднеквадратичное отклонение, вычисляемое по формуле (3), демонстрирует небольшой разброс в оценке COC значение которого равно 0,12. Из-за низкой зависимости оценки MAE от выбросов данных и шума среднеквадратичное отклонение получилось равным 12,6

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}, \quad (3)$$

где x_i – элемент списка оценки изображения;
 μ – среднее значение оценки;
 N – количество элементов в списке оценки.

Корреляция между оценками MAE и COC, вычисляемая по формуле (4), является замет-

ной и составляет 0,54. Положительная корреляция означает, что по мере увеличения значений MAE можно ожидать, что значения COC также будут увеличиваться:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \mu_x)}{\sigma_x} \cdot \frac{(y_i - \mu_y)}{\sigma_y}}{N - 1}, \quad (4)$$

где x_i – элемент списка оценки MAE;
 y_i – элемент списка оценки COC.

Чтобы подчеркнуть среднюю зависимость этих значений был построен сравнительный график, представлен на *рисунке 3*. Для этого вычтем из каждого MAE и COC значение среднего арифметического элементов и поделим его на среднеквадратичное отклонение. В результате получим нормализованные значения графика. Из *рисунка 3* можно сделать вывод, что в основной массе оценки совпадают.

Используя наложение маски на изображение с лидара, можно визуально подтвердить полученные ранее результаты. На *рисунке 4* наглядно показано красным цветом в каких пикселях расстояние, полученное с лидара равно расстоянию, полученному нейронной сетью. Как было сказано выше, чем дальше от камеры объект, тем хуже MiDaS определяет расстояние, из-за этого часто в середине сцены расстояние до объектов сильно отличается от действительного.

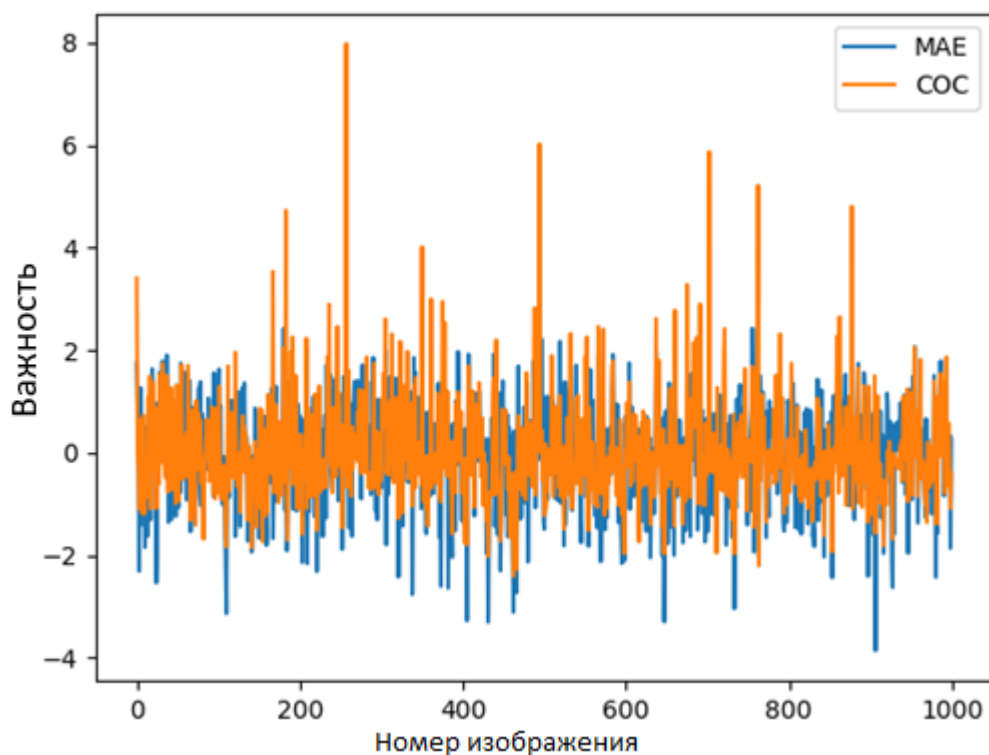


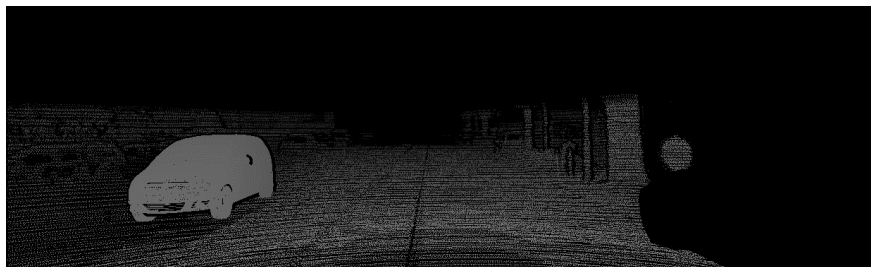
Рис. 3. Сравнение значений оценок MAE и COC

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Заключение

В дорожной среде неточно построенная карта глубины может привести к авариям и происшествиям на дорогах, поэтому важно определить, насколько хороши современные нейронные сети для определения глубины сцены. Авторы моде-

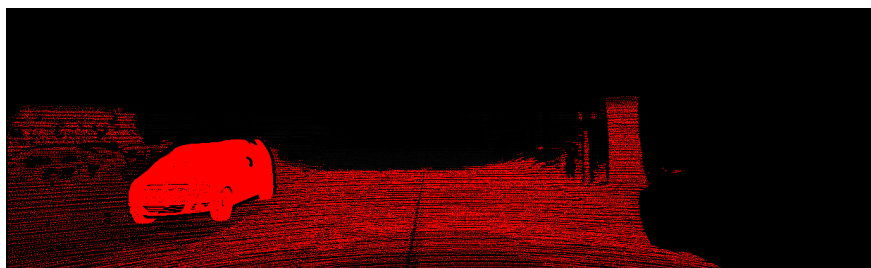
ли *MiDaS* использовали большой набор данных, предложили гибкую функцию потерь и принципиально новую стратегию смешивания датасетов. Такой подход позволил создать разноплановую и многоцелевую нейронную сеть, которая строит карты глубины всего по одному изображению.



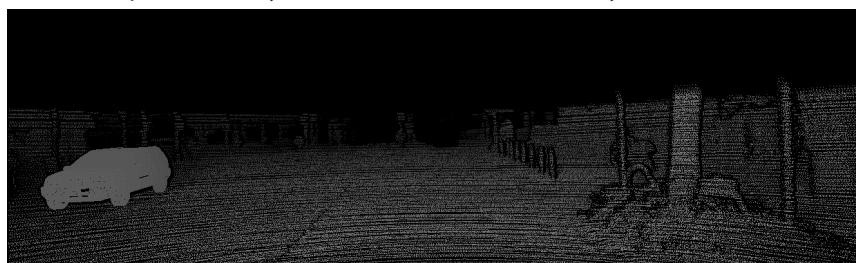
а) изображение с лидара (сцена 1)



б) карта глубины, полученная с помощью модели MiDaS (сцена 1)



в) изображение, полученное с помощью способа визуализации (сцена 1)

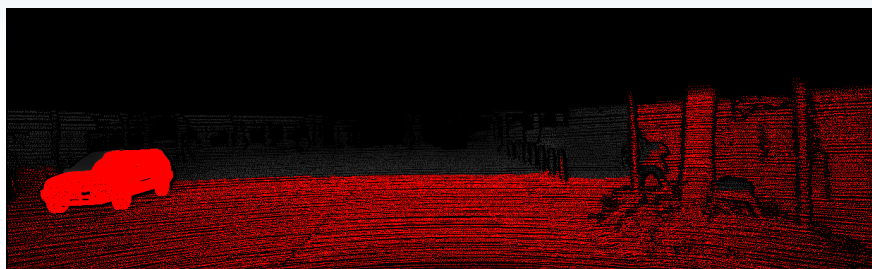


г) изображение с лидара (сцена 2)

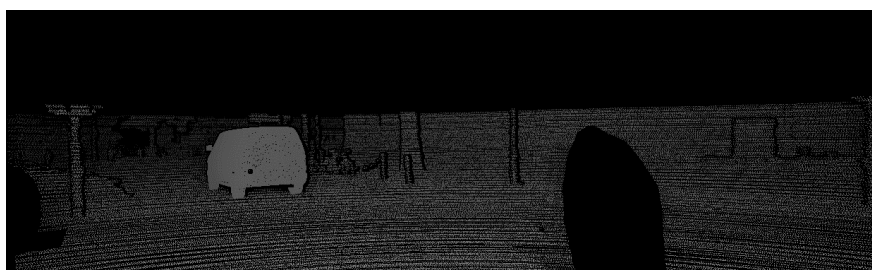


д) карта глубины, полученная с помощью модели MiDaS (сцена 2)

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



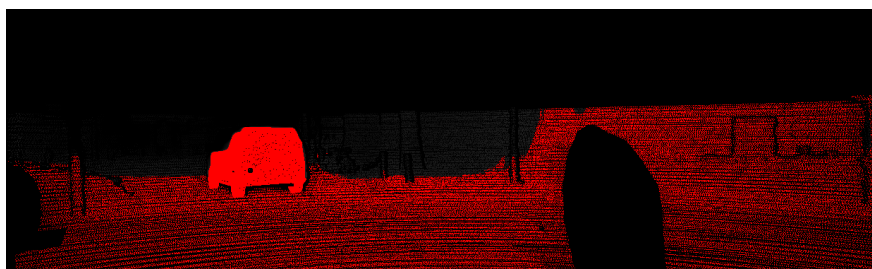
е) изображение, полученное с помощью способа визуализации (сцена 2)



ж) изображение с лидара (сцена 3)



з) карта глубины, полученная с помощью модели MiDaS (сцена 3)



и) изображение, полученное с помощью способа визуализации (сцена 3)

Рис. 4. Качественное сравнение изображений трех дорожных сцен

В ходе исследования были использованы два метода которые позволили проверить работоспособность нейронных сетей в дорожных сценах. Среднее арифметическое значение коэффициентов *MAE* и *COC* на одну тысячу изображений составило 141,8 и 0,5967 соответственно.

Более подробно ознакомиться с полученными результатами можно в свободном доступе по ссылке: https://github.com/skips0skips/depth_map_estimation_method.

Литература

1. Stowers J., Hayes M., Bainbridge-Smith A. Altitude control of a quadrotor helicopter using depth

map from Microsoft Kinect sensor //2011 IEEE International Conference on Mechatronics. IEEE, 2011. С. 358-362.

2. Guzhva N.S. Using 3D Object Detection DNN in an Autonomous Tram to Predict the Behaviour of Vehicles in the Road Scene, 2022 29th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS), Saint Petersburg, Russian Federation, 2022. Pp. 1-6.

3. Бикмаев Р.Р. Определение местоположения наземного транспортного средства с использованием монокамеры и дорожных знаков с геодезической привязкой / Сб. тр. XXVII Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам, 2020. С.341-345.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

4. Kanade T., Rander P., Narayanan P.J. Virtualized reality: Constructing virtual worlds from real scenes // IEEE multimedia, 1997. Т.4. №1. С.34-47.
5. Суворов Г.П., Смирнов Д.В., Коробков А.А., Аллилуева Н.В. Система видеомониторинга и аналитики пассажиропотока на основе методов искусственного интеллекта и свёрточных нейронных сетей с реализацией на Python // Известия Института инженерной физики, 2022. №3(65). С.67-74.
6. Толстенко А.С., Клейменов А.А., Али Б., Крынецкая Г.С., Коробков А.А. Анализ нейронных сетей для детектирования светофоров на изображениях // Известия Института инженерной физики, 2023. №2(68). С.59-65.
7. Суворов Г.П., Смирнов Д.В., Коробков А.А., Елохин С.В., Аллилуева Н.В. Практическая реализация нейронной сети в проекте системы видеомониторинга и аналитики пассажиропотока на транспортных средствах // Известия Института инженерной физики, 2023. №2(68). С.66-73.
8. Бикмаев Р.Р., Золотов М.Д. и др. Повышение точности сопровождения подвижных объектов с применением алгоритма комплексной обработки сигналов с монокулярной камеры и лидара / Сб. тр. XXVI Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам, 2019. С. 39-42.
9. Hammerstrom D. Neural networks at work // IEEE spectrum, 1993. Т. 30. № 6. С.26-32.
10. Huang K. et al. Superb monocular depth estimation based on transfer learning and surface normal guidance //Sensors, 2020. Т.20. №17. С.4856.
11. Ranftl R. et al. Towards robust monocular depth estimation: Mixing datasets for zero-shot cross-dataset transfer // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2020.
12. Scharstein D. et al. High-resolution stereo datasets with subpixel-accurate ground truth // German conference on pattern recognition. Springer, Cham, 2014. С 31-42.
13. Saxena A., Sun M., Ng A. Y. Make3d: Learning 3D scene structure from a single still image // IEEE transaction on pattern analysis and machine intelligence, 2008. Т.31. №5. С.824-840.
14. Geiger A. et al. Vision meets robotics: The kitti dataset // The International Journal of Robotics Research, 2013. Т.32. №11. С.1231-1237.
15. Geiger A., Lenz P., Urtasun R. Are we ready for autonomous driving? The kitti vision benchmark suite // 2012 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. IEEE, 2012. С.3354-3361.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 005.311

МЕТОДИКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ СБОЕВ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

METHODOLOGY OF ECONOMIC ASSESSMENT UNDER VARIOUS FAILURE SCENARIOS IN SOFTWARE- CONFIGURABLE NETWORKS

Вероника Анатольевна Фёдорова

кандидат технических наук, доцент

доцент

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Адрес: 105005, Москва,

ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

Тел.: 8 (985) 815-53-21

E-mail: bmstukf@mail.ru

Илья Владимирович Викулов

студент

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Адрес: 105005, Москва,

ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1

Тел.: 8 (925) 362-37-86

E-mail: ilya_vikulov@bk.ru

Аннотация

Сетевую инфраструктуру невозможно представить без сбоев. Они могут произойти в любое время в различных компонентах сети. Сетевые сбои влияют на экономические аспекты в отношении капитальных затрат (Capital Expenditure, CAPEX), операционных расходов (Operational Expenses, OPEX), потери доходов из-за сокращения предоставления услуг и так далее. Чтобы смягчить ущерб, возникающий в результате этих сбоев, необходима разработка гибкой архитектуры сети. Программно-конфигурируемые сети (ПКС, Software Defined Networking, SDN) привлекли внимание исследователей как из академических кругов, так и промышленности как средство повышения доступности и надежности сети за счет таких функций, как централизованное автоматизированное управление и мониторинг. В работе представлена возможная методика оценки экономической эффективности в программно-конфигурируемых сетях при возникновении сбоев.

Ключевые слова: программно-конфигурируемые сети, сетевые сбои, экономика, капитальные затраты, операционные расходы.

Summary

It is impossible to imagine a network infrastructure without failures. They can occur at any time in various components of the network. Network failures affect economic aspects in terms of capital Expenditure (CAPEX), Operational Expenses (OPEX), loss of revenue due to reduced service provision, and so on. To mitigate the damage resulting from these failures, it is necessary to develop a flexible network architecture. Software-configurable networks (PKS, Software Defined Networking, SDN) have attracted the attention of researchers from both academia and industry as a means of increasing network availability and reliability through functions such as centralized automated management and monitoring. The paper presents a possible methodology for assessing economic efficiency in software-configurable networks in the event of failures.

Keywords: software-configurable networks, network failures, economics, capital expenditures, operating expenses.

Введение

Доступность в сетях является одним из важнейших критериев. Когда в сети происходит сбой, важно, чтобы перебои в обслуживании клиентов были минимальными, поскольку клиенты и услуги являются источниками дохода/экономики сети. Следовательно, обнаружение сбоя и восстановление после него как можно быстрее имеет важное значение для смягчения ухудшения качества обслуживания и производительности в сетях.

Сбои – это распространенные события, которые могут происходить независимо от разме-

ра повреждения, аппаратного, программного обеспечения. Независимо от типа сети, размера и служб, они могут отрицательно повлиять на производительность, управление и предоставление услуг в сети. Эти разрушительные события, в свою очередь, могут привести к влиянию на CAPEX, OPEX и доходы сети. В результате они могут оказать серьезное финансовое воздействие на поставщиков услуг. Согласно [1-3], почасовая стоимость простоя компьютерных сетей составляет 42 000 долларов США. Компания, например, страдающая от среднего простоя в 100 часов в год, может потерять более 4 миллионов долларов в год.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Последствия сбоев могут быть различными в зависимости от архитектуры, программируемой, например, ПКС или традиционной, например MPLS, а также топологии, используемой в сети. Чтобы смягчить ущерб, возникающий в результате этих сбоев, сетевая архитектура имеет решающее значение для сети в случае возникновения сбоев. ПКС привлекли внимание исследователей как из академических кругов, так и из промышленности как средство повышения доступности сети, надежности и доходов, а также благодаря возможности снизить затраты на сеть, а, следовательно, и на обслуживание, благодаря таким функциям, как централизованное автоматизированное управление и мониторинг.

Исследование предполагает анализ влияния программируемой сетевой архитектуры ПКС на экономику сетевой инфраструктуры в случае сбоев. Кроме того, исследуются экономические последствия сбоев в различных плоскостях управления ПКС: централизованной плоскости управления (Centralized (Single) Control Plane, CCP), распределенной плоскости управления

(Distributed (Flat) Control Plane, DCP) и иерархической плоскости управления (Hierarchical Control Plane, HCP).

Экономический анализ сетевых сбоев

В работе рассматриваются возможные экономические последствия различных типов сетевых сбоев в сетях ПКС. Исследуются два различных сценария сбоя: случайный сбой канала передачи данных и случайный сбой плоскости управления (т.е. контроллера). Эти типы сбоев являются распространенными в сетях. Они также предоставляют сетевым администраторам информацию, позволяющую понять экономические последствия сбоев.

Возможные модели ПКС

В работе рассматривались CCP, DCP и HCP, представленные на рисунках 1-3, в качестве моделей плоскости управления ПКС при проведении анализа для оценки их влияния на экономику сети в сценариях сбоев.

Двухсторонние сплошные, пунктирные и

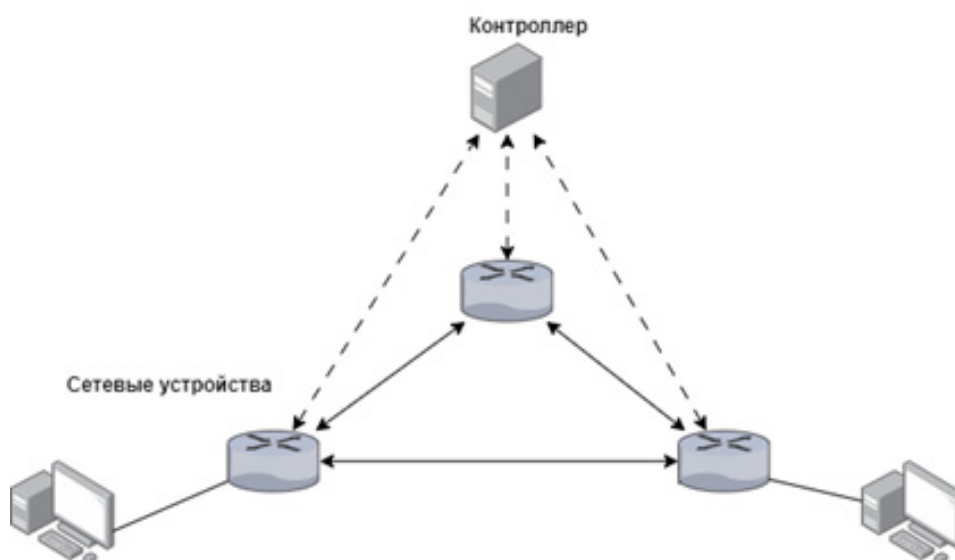


Рис. 1. Централизованная плоскости управления (Centralized (Single) Control Plane, CCP)

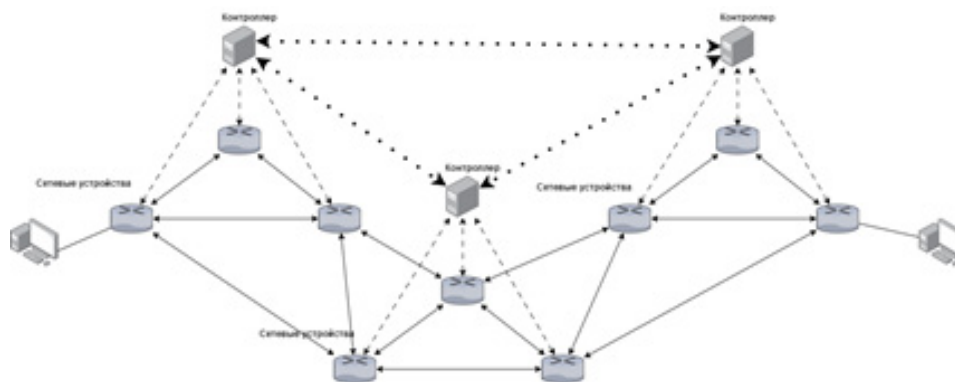


Рис. 2. Распределенная плоскость управления (Distributed (Flat) Control Plane, DCP)

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

точечные стрелки представляют двусторонний путь передачи данных между сетевыми устройствами, путь управления между контроллером и устройствами плоскости данных и путь между контроллерами соответственно.

В ССР есть один главный контроллер с состоянием сети. В DCP каждый контроллер управляет подсетью/доменом всей сети и имеет свое собственное представление локальной сети, который, в свою очередь, абстрагируется как логический узел от своих соседних контроллеров. В НСР есть уровни, где находятся локальные контроллеры с локальным представлением и отвечают за разные поддомены, а корневой контроллер с представлением глобальной сети отвечает за глобальные приложения, такие как маршрутизация.

Сбой плоскости передачи данных

Отказ плоскости данных – это один из типов отказов. Существует множество предложений по методам обнаружения сбоев канала связи/восстановления в сети. Некоторые из распространенных методов, используемых для обнаружения сбоев – это сеансы BFD, потеря сигнала (LOS) и пакеты LLDP.

Исследование [4-6] реализует два хорошо известных механизма восстановления после сбоя, т.е. защиту и восстановление, в сетях OpenFlow. В случае защиты альтернативные пути резервируются до того, как в сети произойдет сбой. В случае восстановления альтернативные пути не устанавливаются до тех пор, пока не произойдет сбой. Контроллер, находящийся в процессе восстановления, должен немедленно уведомить все затронутые коммутаторы о действиях по восстановлению. Для реализации схемы защиты необходима концепция «Групповой таблицы», опре-

деленная для OpenFlow 1.1. OpenFlow вводит тип группы быстрого перехода на другой ресурс для выполнения быстрого перехода без необходимости привлечения контроллера. Любая групповая запись этого типа состоит из двух или более блоков действий с четко определенным порядком. Статус корзины может быть изменен путем перехода контролируемого порта в состояние «down» или с помощью других механизмов, таких как BFD. Что касается метода восстановления, то после обнаружения сбоя контроллер уведомляется об этом, чтобы рассчитать новые пути для затронутых потоков. Затем контроллер выполняет необходимые действия, такие как повторное вычисление пути для потоков, затронутых сбоем, и установка новых правил потока для вновь вычисленных путей в соответствующих коммутаторах по новым путям.

Сбой плоскости управления

ПКС дает много преимуществ сетевому взаимодействию, но также страдает от различных проблем. Одна из серьезных проблем ПКС заключается в том, что контроллер может быть критической точкой отказа, что может привести к общей недоступности сети. Следовательно, проектирование отказоустойчивой плоскости управления является обязательным условием для сети, основанной на ПКС. Причин сбоя контроллера может быть множество: аппаратный сбой (например, аппаратное обеспечение сервера контроллера), программный сбой или ошибка в операционной системе сервера и программном обеспечении контроллера, перебои в подаче электроэнергии и так далее. Одним из основных решений при сбое контроллера является использование резервного контроллера для автоматического принятия на себя крити-

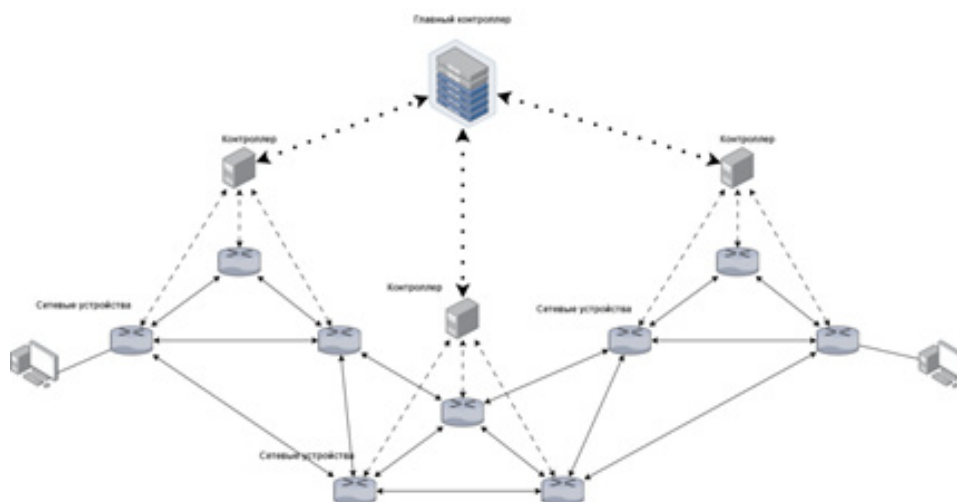


Рис. 3. Иерархическая плоскость управления (Hierarchical Control Plane, HCP)

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ческих обязанностей по управлению сетевой инфраструктурой и потоками данных от вышедшего из строя основного контроллера. Начиная с версии протокола OpenFlow 1.2.0, он предоставляет возможность настроить один или несколько резервных контроллеров, которые смогут взять на себя управление сетью в случае сбоя, используя механизм смены роли контроллера, но OpenFlow не предоставляет никакого механизма координации между основным и резервным контроллерами. Следовательно, сетевые администраторы несут ответственность за предоставление такого метода синхронизации для обеспечения согласованности между ними, чтобы справиться со сбоем контроллера и повысить отказоустойчивость без какого-либо фатального ущерба сетевым службам и удовлетворенности клиентов.

Показатель масштабируемости стоимости единого обслуживания

Один из сложных вопросов, касающихся масштабируемости, заключается в том, оказывает ли стоимость системы на предоставление услуги какое-либо влияние на масштабируемость системы.

В этом контексте была введена метрика, называемая показатель масштабируемости стоимости единичного обслуживания для оценки производительности сети по удельным затратам на обслуживание. В нем учитывается нагрузка на сеть и затраты, необходимые для поддержания качества обслуживания (Quality of service, QoS).

Удельную стоимость услуги (запроса) с уровнем обслуживания можно представить как функцию CAPEX, OPEX и рабочей нагрузки за определенный период времени. Общая структура удельных затрат для услуги (запроса) с одним параметром QoS (пропускной способностью) от уровня обслуживания показана в уравнении.

$$C_{bw_j} = f(C, O, W) = \begin{cases} \frac{C + O}{\sum_{j=1} w_j * |bw_j|} * |bw_j| & \text{до } \delta \\ \frac{C + C_\delta + O + O_\delta}{\sum_{j=1} (w_j + w_{\delta_j}) * |bw_j|} * |bw_j| & \text{после } \delta \end{cases}$$

где $bw_j, |bw_j|, C_{bw_j}, C, O$ представляют тип услуги (т.е. пропускную способность) с уровнем j , числовое значение уровня обслуживания bw_j , стои-

мость единицы услуги bw_j , капитальные затраты и операционные расходы за определенный период времени (например, месяц, год) соответственно w_j и w_{δ_j} представляют рабочую нагрузку и возможную дополнительную рабочую нагрузку службы bw_j и $W = \sum_{j=1} w_j$ и $W_\delta = \sum_{j=1} w_{\delta_j}$, C_δ , O_δ и W_δ представляют возможные дополнительные капитальные затраты, операционные расходы и рабочую нагрузку, понесенные после внедрения различных видов изменений/модернизаций (представленных как δ) в сети.

Заключение

В результате исследования были проанализированы преимущества и недостатки программно-конфигурируемых сетей с экономической точки зрения. Выявлены уязвимые места в ПКС, возможные причины сбоя.

Выведен показатель масштабируемости стоимости единичного обслуживания, дальнейший расчет которого можно провести в ходе эксперимента в эмуляционной среде Mininet с POX-контроллером для ПКС и ns3 для традиционной MPLS, что позволит исследовать влияние программируемых сетевых архитектур и традиционных сетевых архитектур на экономику сети, используя количество удовлетворенных запросов на обслуживание и предопределенные показатели масштабируемости стоимости обслуживания в сценариях сбоя сети:

- случайный сбой канала передачи данных;
- случайный сбой контроллера (т.е. плоскости управления).

Литература

1. Openflow Switching Consortium. [https:// opennetworking.org/ software-defined-standards/ specifications/](https://opennetworking.org/software-defined-standards/specifications/)
2. Gartner Tech Q&A: How Much Does an Hour of Downtime Cost?
3. Porras P. A Security Enforcement Kernel for OpenFlow Networks.
4. Porras P. Securing the Software-Defined Network Control Layer.
5. Sharma Sachin. OpenFlow: Meeting carrier-grade recovery requirements.
6. Барсков А. SDN: кому и зачем это надо? // Журнал сетевых решений/ LAN. [https:// www.osp.ru/lan/ 2012/ 12/ 13033012](https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЛОИТА, ВНЕДРЕННОГО В ФАЙЛ НЕИСПОЛНЯЕМОГО ФОРМАТА MATHEMATICAL MODEL OF AN EXPLOIT EMBEDDED IN A NON- EXECUTABLE FILE

Сергей Евгеньевич Кондаков

кандидат технических наук
доцент кафедры
ФГБОУ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 105005, Москва,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 4
Тел.: +7 (903) 794-78-57
E-mail: sergeikondakov@list.ru

Александр Николаевич Архипов

ассистент кафедры
ФГБОУ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 105005, Москва,
ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 4
Тел.: +7 (906) 046-280-8
E-mail: diskpart111@mail.ru



Аннотация

В статье представлен подход к разработке математической модели эксплойта, внедренного в файл неисполняемого формата, позволяющая математически представить структуру, составные элементы и показатели, характеризующие его. Разработанная математическая модель может использоваться для создания новых методов, методик, алгоритмов и средств, направленных на повышение эффективности защиты информации от воздействия вредоносного кода, распространяемого в форме эксплойтов, в том числе созданных с применением технологий обфускации (запутывания) программного кода.

Ключевые слова: целевые компьютерные атаки, система защиты информации, эксплойт, математическая модель.

Summary

The article presents an approach to the development of a mathematical model of an exploit embedded in a non-executable file format, which allows you to mathematically represent the structure, constituent elements and indicators characterizing it. The developed mathematical model can be used to create new methods, techniques, algorithms and tools aimed at improving the effectiveness of protecting information from the effects of malicious code distributed in the form of exploits, including those created using obfuscation (obfuscation) technologies of program code.

Keywords: targeted computer attacks, information security system, exploit, mathematical model.

Актуальность

Анализ современных методов выявления угроз нарушения информационной безопасности, реализуемых посредством эксплойтов, показал, что существующие методы и средства защиты информации от указанных угроз во многом не удовлетворяют потребностям практики [1-3].

Появляются новые более совершенные инструменты проведения компьютерных атак, нивелирующие принимаемые технические меры по обеспечению информационной безопасности информационной инфраструктуры, учитывающие специфику применяемых в ней методов и средств защиты информации [4]. В частности, существенное негативное влияние на защищенность информационной инфраструктуры оказывают угрозы нарушения информационной безопасности, реализуемые посредством вредоносного кода, распространяемого в форме эксплойтов, внедренного в файл неисполняемого фор-

мата [5]. Средства защиты информации, обрабатываемой в информационной инфраструктуре, и лежащие в их основе модели и методы обладают невысокой адаптивностью к изменяющимся условиям обстановки. Все это отрицательным образом сказывается на эффективности указанных средств и, как следствие, на защищенности информационной инфраструктуры.

При этом математические модели распространения вредоносного кода, приводимые в научной [6-9] и практической литературе [10], не содержат описания структуры, составных элементов и иных характеристик вредоносного кода, распространяемого в форме эксплойтов.

Вышеуказанные факторы актуализируют задачу разработку новых моделей угроз нарушения информационной безопасности, реализуемых посредством эксплойтов.

В частности, в научной литературе не представлена математическая модель эксплойта, внедренного в файл неисполняемого формата, и по-

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

тому ее разработка формирует результат, обладающий научной новизной.

Постановка задачи

Таким образом, необходимо разработать математическую модель, обеспечивающую приближенное описание эксплойта, внедренного в файл неисполняемого формата, позволяющее математически представить его структуру, составные элементы и показатели их характеризующие.

Сформулируем требования к разрабатываемой модели, которые лягут в основу определения математического аппарата и ограничений.

Требования к разрабатываемой модели эксплойта:

1. Модель должна описывать структуру и составные элементы эксплойта, а также варианты их реализации.
2. Модель должна позволять получить множество показателей, характеризующих варианты реализации составных элементов, для возможности их последующего анализа.

Математическое моделирование эксплойта

В общем случае эксплойт структурно состоит из двух частей: модуля эксплуатации уязвимости и полезной нагрузки.

Общий вид файла неисполняемого формата с внедренным эксплойтом представлен на *рисунке 1*.

Таким образом, представим модель эксплойта E в виде:

$$E \rightarrow \langle M, P_M, S, P_S, D \rangle \quad (1)$$

где M – множество вариантов реализации модуля эксплуатации уязвимости;

P_M – множество показателей, характеризующих варианты реализации модуля эксплуатации уязвимости;

S – множество вариантов реализации полезной нагрузки;

P_S – множество показателей, характеризующих варианты реализации полезной нагрузки;

D – множество вариантов допустимых данных (не вызывающих ошибку их обработки).

Для приведения понятийного аппарата к единому виду дадим определения указанным понятиям:

- модуль эксплуатации – набор данных вызывающих ошибку в программе, обрабатывающей

файл неисполняемого формата, и позволяющей выполнить полезную нагрузку (проэксплуатировать ошибку);

- полезная нагрузка – произвольный исполняемый вредоносный код.

В рамках данной статьи построим математическое описание модуля эксплуатации эксплойта, внедренного в файл неисполняемого формата.

Математическое описание полезной нагрузки будет приведена в отдельной статье.

Описание модуля эксплуатации

Таким образом каждый отдельно взятый вариант реализации модуля эксплуатации уязвимости может быть представлен в виде кортежа:

$$M_i = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle \quad (2)$$

где $a \in Z, 0 \leq a \leq 255$.

Тогда множество вариантов реализации модуля эксплуатации уязвимости может быть представлено выражением вида:

$$M = \left\{ \begin{array}{l} \langle a_1^1, a_2^1, \dots, a_n^1 \rangle \\ \dots \\ \langle a_1^i, a_2^i, \dots, a_n^i \rangle \\ \dots \\ \langle a_1^L, a_2^L, \dots, a_n^L \rangle \end{array} \right. \quad (3)$$

где $\langle a_1^i, a_2^i, \dots, a_n^i \rangle$ – i -кортеж длины n , который удовлетворяет следующим условиям:

$$1 \leq n \leq L_M, 1 \leq i \leq K_M;$$

L_M – длина модуля эксплуатации в байтах;

K_M – число кортежей, содержащих данные, вызывающие ошибку в работе программы.

При этом максимальное теоритическое значение для K_M ограничено числом возможных перестановок с повторениями кортежа длиной n , содержащего 256 элементов и может быть вычислено по формуле:

$$\max_n K_M = \frac{n!}{n_0! n_1! \dots n_{255}!} \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^{255} n_j = n$$

где n_j – число, показывающее сколько раз элемент с номером j встретился в i -кортеже.

Пусть Q – число кортежей, содержащих данные, не вызывающие ошибку в работе программы.

Тогда значение K_M будет определяться по формуле:

$$K_M = \frac{n!}{n_0! n_1! \dots n_{255}!} - Q \quad (5)$$

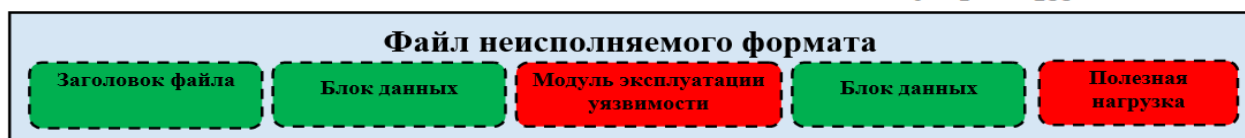


Рис. 1. Общий вид файла неисполняемого формата с внедренным эксплойтом

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Длина модуля эксплуатации может быть получена из следующего выражения:

$$L_M = L_F - (L_D + L_S) \quad (6)$$

где L_F – размер анализируемого файла в байтах;

L_D – размер допустимых данных в байтах;

L_S – размер полезной нагрузки в байтах.

Для получения множества показателей, характеризующих варианты реализации модуля эксплуатации уязвимости, целесообразно привести каждый отдельно взятый вариант реализации модуля эксплуатации уязвимости (2) к виду, удобному для проведения его анализа.

Поскольку модуль эксплуатации уязвимости это набор данных, вызывающих ошибку в программе его можно охарактеризовать двумя параметрами: количество элементов или длина и конкретный набор элементов или содержание.

Обе эти характеристики можно связать во-едино через понятие вероятности:

$$p_i = \frac{n_i}{n} \quad (7)$$

где p_i – вероятность встречаемости элемента с порядковым номером i ;

n_i – количество элементов с порядковым номером i в исследуемом картее (варианте реализации модуля эксплуатации уязвимости).

Тогда каждому варианту реализации модуля эксплуатации уязвимости можно поставить в соответствие вектор вероятностей встречаемости его элементов:

$$M_i = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle \rightarrow (p_0, p_1, \dots, p_{255}) \quad (8)$$

С учетом изложенного множество показателей, характеризующих варианты реализации модуля эксплуатации уязвимости, может быть получено путем применения различных методов статистического анализа:

$$P_M = \begin{cases} F_1(p_0, p_1, \dots, p_{255}) \\ \dots \\ F_i(p_0, p_1, \dots, p_{255}) \\ \dots \\ F_k(p_0, p_1, \dots, p_{255}) \end{cases} \quad (9)$$

где F_i – методы статистического анализа.

Заключение

Таким образом, в рамках настоящей статьи в общем виде представлена модель эксплойта, внедренного в файл неисполняемого формата, а также математическое описание его составного элемента – модуля эксплуатации.

Математическое описание модуля эксплуатации, определяют варианты его реализации и позволяют получить множество характеризующих

показателей, пригодных для возможности последующего анализа, результаты которого могут позволить выделить набор информативных признаков наличия эксплойта в файлах неисполняемых форматов, необходимых для разработки новых методов, методик и алгоритмов выявления угроз нарушения информационной безопасности, реализуемых посредством эксплойтов.

Литература

1. АО «Позитив Текнолоджиз» Актуальные киберугрозы: итоги 2021 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2021/>, свободный. (Дата обращения: 16.02.2023).
2. АО «Лаборатория Касперского» Что такое эксплойты и почему их все так боятся? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.kaspersky.kz/exploits-problem-explanation/8459/>, свободный. (Дата обращения: 16.02.2023).
3. Архипов А.Н. Актуальность обнаружения эксплойтов / Информационная безопасность – актуальная проблема современности: материалы научной конференции «XXII Всероссийская научно-техническая школа-семинар». Краснодар, 2021. С.62-65.
4. ГОСТ Р 59506-2021. Безопасность машин. Вопросы защиты информации в системах управления, связанных с обеспечением функциональной безопасности. М.: Стандартинформ, 2021. 12 с.
5. Daley D.J., Gani J. Epidemic Modeling: An Introduction / Cambridge University Press, Tempe, 1999. 226 p.
6. Frauenthal J.C. Mathematical Models in Epidemiology. New York: Springer-Verlag, 1980. 335 p.
7. Воронцов В.В., Котенко И.В. Аналитические модели распространения сетевых червей / Тр. СПИИРАН, 2007. Вып. 4. Санкт-Петербург. 224 с.
8. Kephart J.O., White S.R. Directed-graph epidemiological models of computer viruses // Proc. 1991 IEEE Comp. Society Symposium on Research in Security and Privacy. Oakland, California, 1991. Pp. 343-359.
9. Zhang Ch., Zhao Y., Wu Y. An impulse model for computer viruses. Discrete Dynamics in Nature and Society. 2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/286209>, свободный. (Дата обращения: 16.02.2023).
10. MITRE ATT&CK [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://attack.mitre.org/>, свободный. (Дата обращения: 16.02.2023).



ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.039

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ НА ВХОДНОМ УЧАСТКЕ ТРАЕКТОРИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ СОВЕРШЕНИИ СПУСКА В АТМОСФЕРЕ OPTIMIZATION TASKS AT THE ENTRANCE SECTION OF THE TRAJECTORY OF THE AIRCRAFT DURING DESCENT IN THE ATMOSPHERE

Эдуард Михайлович Руденко
кандидат технических наук
доцент кафедры математики
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (916) 851-80-55
E-mail: eduard5529@yandex.ru

Павел Михайлович Сергеев
слушатель
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (930) 221-70-01

Аннотация

В статье рассмотрены оптимизационные задачи управления по углу атаки на входном участке полета спускаемого летательного аппарата самолетного типа. Полет спускаемого крылатого аппарата осуществляется при ступенчатом законе управления по углу атаки. В качестве критериев оптимизации рассмотрены: максимум скорости и высоты в точке нижнего рикошета и минимум перегрузки. Решение проводится на основе численного интегрирования системы дифференциальных уравнений плоского движения центра массы летательного аппарата. Для формы корпуса с треугольным крылом учитывался закон изменения профиля миделева сечения при больших значениях угла атаки.

Ключевые слова: летательный аппарат, ступенчатый закон изменения угла атаки, траектория полета, точка нижнего рикошета, аэродинамическое качество, баллистический коэффициент.

Summary

The article considers the optimization problems of controlling the angle of attack at the entrance section of the flight of an aircraft-type descent vehicle. The flight of the descent winged vehicle is carried out with a stepwise control law on the angle of attack. As optimization criteria, the following are considered: maximum speed and height at the point of the lower rebound and minimum overload. The solution is carried out on the basis of numerical integration of the system of differential equations of the plane motion of the center of mass of the aircraft. For the shape of the hull with a triangular wing, the law of changing the profile of the midsection at large values of the angle of attack was taken into account.

Keywords: aircraft, step law of change of angle of attack, flight trajectory, lower rebound point, aerodynamic quality, ballistic coefficient.

Проблематика спуска в атмосфере

Одним из основных участков полета гиперзвукового летательного аппарата (ГЛА) является входной участок из космоса в атмосферу Земли, на котором решается задача эффективного разворота вектора скорости от отрицательного угла наклона к плоскости местного горизонта до нулевого или положительного значения. Оптимальная реализация входного участка позволяет существенно повлиять на условия последующего планирующего участка спуска. Оптимальная по минимальным потерям кинетической энергии реализация входного участка оказывает решающее значение на высоту и дальность маршевого участка, на скорость полета на замыкающем участке траектории. Достижение максимальной

величины высоты нижнего рикошета и минимальной перегрузки может существенно повлиять на комфортные условия пилотируемого полета при спуске в атмосфере Земли.

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений плоского движения планирующего летательного аппарата без двигателей [1,2]

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = -\frac{B\rho V^2}{2} - g \sin \theta, \\ \frac{d\theta}{dt} = \frac{B\rho V}{2} K - \left(\frac{g}{V} - \frac{V}{R}\right) \cos \theta, \\ \frac{dh}{dt} = V \sin \theta, \\ \frac{dL}{dt} = V \cos \theta, \end{cases} \quad (1)$$

где B – баллистический коэффициент ЛА;

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

K – аэродинамическое качество;

$R = 6371 \text{ км}$ – радиус сферической модели Земли;

g – ускорение силы тяжести Земли на высоте h .

Для планирующего ГЛА спуск слишком низко в плотные слои атмосферы может привести к высоким перегрузкам и аэродинамическому нагреву, а также к сильному торможению и к потере скорости в точке нижнего рикошета. Поэтому планирующий спуск в атмосфере и разворот траектории ГЛА до угла $\theta_p = 0$ должен произойти на достаточно большой высоте h_p . Введем фазовые координаты (x, y) , где x – энергетический параметр, y – относительная плотность, вычисляемые по формулам:

$$x = -\ln\left(\frac{V}{V_0}\right)^2 = -2\ln\left(\frac{V}{V_0}\right); y = \frac{\rho}{\rho_0} = e^{-\beta h}, \quad (2)$$

где $\rho_0 \approx 1,225 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха на уровне моря;

$\beta = 0,142 \text{ км}^{-1}$ – показатель в изотермической модели атмосферы [3];

параметр x равен доли текущей кинетической энергии к исходной [4].

При спуске в атмосфере необходимо учитывать взаимосвязь K и B через изменение угла атаки. Учет зависимости ЛБХ K и B через полару ЛА [5] предполагает, что для ГЛА заданы аэродинамические коэффициенты (АДК) $c_{x0}, c_{xa}, c_{x\alpha\alpha}, c_{y0}, c_{ya}, c_{y\alpha\alpha}$:

$$\begin{cases} c_x = c_x(\alpha) = c_{x0} + c_{xa}\alpha + c_{x\alpha\alpha}\alpha^2; \\ c_y = c_y(\alpha) = c_{y0} + c_{ya}\alpha + c_{y\alpha\alpha}\alpha^2; \\ c_{xa}(\alpha) = c_x \cos \alpha + c_y \sin \alpha; \\ c_{ya}(\alpha) = -c_x \sin \alpha + c_y \cos \alpha; \\ K = \frac{c_{xa}(\alpha)}{c_{ya}(\alpha)}, \quad B = \frac{c_{xa} \cdot S_m}{m}. \end{cases} \quad (3)$$

Для учета изменения баллистического коэффициента от угла атаки используем закон изме-

нения площади миделева сечения самолетного ЛА с треугольным крылом. Площадь миделева сечения учитывает изменяемость профиля крылатого летательного аппарата от угла атаки по формуле (4):

$$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \operatorname{argmax}_p. \quad (4)$$

Расчеты по формуле (4) проводились при следующих значениях:

$r_m = 0,75 \text{ м}$ – радиус миделя корпуса ЛА;

$l_{кр} = 1 \text{ м}$ – ширина крыльев в торцевом сечении, отсчитываемые от корпуса ЛА;

$l_{\text{ЛА}} = 4 \text{ м}$ – длина корпуса ЛА;

$\varepsilon = 1$ – безразмерный параметр асимметрии корпуса ЛА.

Для планирующего ГЛА спуск слишком низко в плотные слои атмосферы может привести к высоким перегрузкам, а также к сильному торможению и к большой потере скорости (торможению) в точке нижнего рикошета. Поэтому планирующий спуск в оптимизационной задаче (1) и разворот ГЛА до угла $\theta_p = 0$ должен произойти на практически максимальной скорости V_p и высоте h_p . Зависимости $c_x(\alpha), c_y(\alpha), K(\alpha)$ при $c_{x0} = 0,0432; c_{xa} = 0,0049; c_{x\alpha\alpha} = 0,4103; c_{y0} = 0,0716; c_{ya} = 1,299; c_{y\alpha\alpha} = 1,0$ приведены на рисунках 1, а, б.

При определении оптимального управления на входном участке от одного управляющего параметра угла атаки – α применим ступенчатый закон изменения $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$. Условием разделения угла атаки на ступени можно считать деление угла наклона траектории $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$, где $\theta_1 = \theta_{\text{вх}}$. В рассмотренном алгоритме принято условие деления угла наклона траектории θ на равные части $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ по закону

$$\theta_i = \theta_0(1 - i/n), i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Исходя из начальных условий полета ГЛА, θ_0, h_0, V_0 , известного угла наклона вектора скорости к плоскости местного горизонта $\theta_1 (i=1)$ из (6) и угла атаки α_1 , вычислим

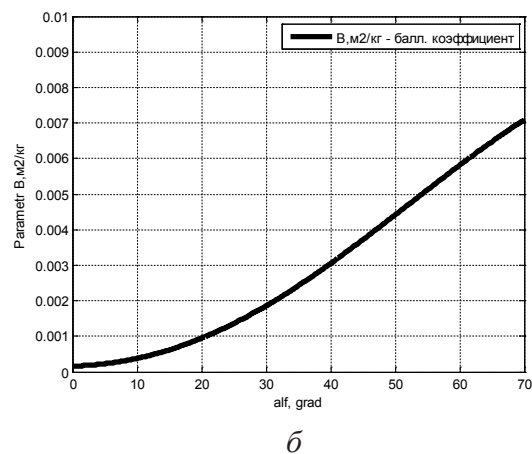
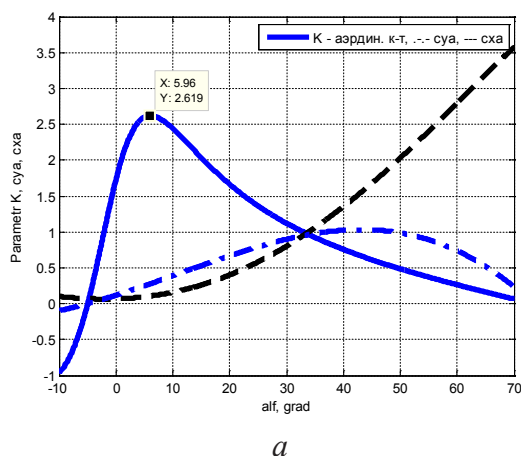


Рис. 1. Зависимости: а) $c_x(\alpha)$, $c_y(\alpha)$ и аэродинамического качества $K(\alpha)$ от угла атаки α , град;
б) баллистического коэффициента $B(\alpha)$ от угла атаки α , град

$$b_1 = \frac{\gamma(\cos \theta_0 - \cos \theta_1)}{x_1} \text{ и } y_1 = \frac{b}{2} x_1^2 - \gamma \sin \theta_0 x_1 + y_0. (6)$$

Получив θ_1, x_1, y_1, V_1 , по a_2 получим по формулам (5)-(6) значения B_2, K_2 и y_2 , и x_2 из выражений (3)-(4) и так далее [6]. Таким образом, процесс циклически можно повторять по переменному индексу $i=1,2,...,n$ до значения $i=n$ и $\theta_n=0$, т.е. до точки нижнего рикошета, в которой будет определен оптимальный энергетический параметр $x_n=x_p$. Подбор $(a_1,a_2,...,a_n)$ может быть подчинен решению различных оптимизационных задач на входном участке.

Первая оптимизационная задача

Задача определения максимальной скорости V_p в точке нижнего рикошета или, что эквивалентно минимуму изменения энергетического параметра, может быть поставлена в виде

$$(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n) = \operatorname{argmin} x_p. (7)$$

Минимизация x_p приводит, согласно (2), к максимальному значению скорости V_p , которая влечет за собой соответствующие значения времени полета t_p , расстояния L_p , высоты h_p . Решение задачи (7) проводилось при различных углах $(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n)$, $n=2 \div 8$ и значениях: $V_0=7000$

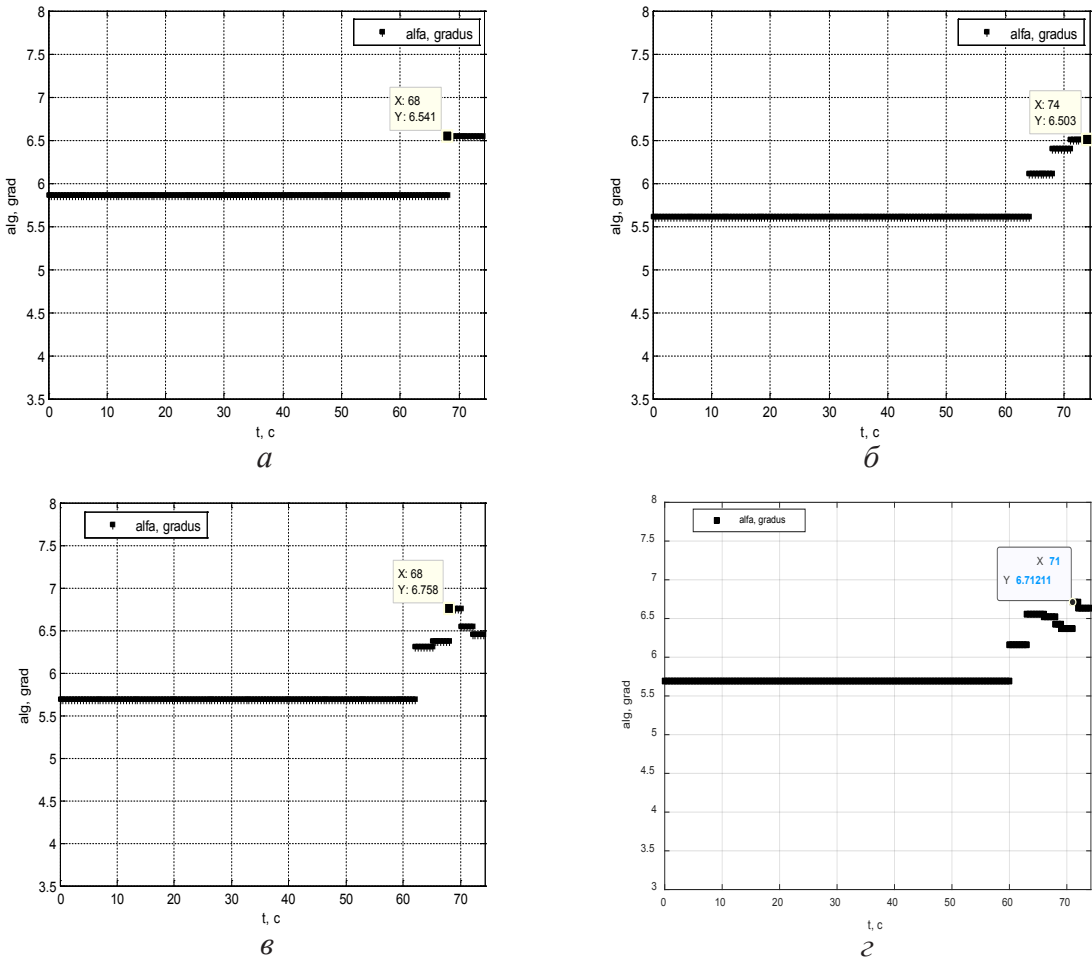


Рис. 2. Графики оптимального релейного управления по углу атаки на входном участке полета: а) $n=2$; б) $n=4$; в) $n=6$; г) $n=8$

Таблица 1

Значение параметров в точке нижнего рикошета ($\theta_p=0$) при $n=2,6,4,8$

Оптимальные значения $(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n)$, град		x_p	t_p, c	$V_p, m/c$	$h_p, км$	$L_p, км$	$n_{пер}$
$n = 2$	5,72; 6,45	0,096	74,4	6671,9	32,00	516,32	9,72
$n = 4$	5,61; 6,11; 6,40; 6,50	0,096	74,4	6671,0	31,90	516,08	9,82
$n = 6$	5,69; 6,31; 6,38; 6,76; 6,54; 6,46	0,096	74,26	6671,1	32,11	514,7	9,44
$n = 8$	5,69; 6,16; 6,56; 6,52; 6,43; 6,37; 6,71; 6,63	0,096	74,19	6671,1	32,15	520,3	9,63

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

м/с, $\theta_0 = -8$ град, $h_0 = 100$ км. Результаты решения задачи (7) приведены в таблице 1.

Изменение оптимальных значений углов атаки приведены на графиках рисунка 2. На этих рисунках для удобства сравнения представлены парные графики различных значений ступенчатого управления по углу атаки $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ $n=2, 4, 6, 8$.

Из решения задачи (7) по минимизации потерь скорости следует:

- оптимальное значение релейных углов атаки для достижения $\max V_p$ в точке нижнего рикошета не приводит к наивысшей высоте $h_{p\max}$, достигаемой при $K_{\max}$ и $B_{\max}$, то есть задачи $\max h_p$ и $\max V_p$ имеют разное решение по управляющим углам атаки $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$;

- величина максимального значения аэродинамического качества $K=3$ согласно рисунка 1а достигается при $\alpha \approx 6$ град, а из рисунка 1б следует, это значение $\alpha = 6$ град достигается в средней части релейно меняющихся значений углов атаки $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, что объясняет первый вывод и почему достигается величина $\max V_p$ в точке нижнего рикошета именно при таком управ-

лении. В таблице 1 в крайнем правом столбце приведена величина полной аэродинамической перегрузки в точке нижнего рикошета:

$$n = \rho_0 V^2 B \sqrt{1 + K^2} / (2g_h), \quad (8)$$

где $g_h = g_0 (R/(R+h))^2$ – ускорение силы тяжести на высоте h ;

V – скорость полета.

Изменение полной перегрузки показано на графиках рисунка 3.

Из рисунков 3 следует, что максимальная перегрузка достигается в близкой окрестности перед точкой нижнего рикошета и составляет 10g.

Вторая оптимизационная задача

Оптимизационная задача достижения максимального значения высоты h_p в точке нижнего рикошета при релейном изменении угла атаки

$$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \operatorname{argmax} h_p \quad (9)$$

может быть решено в форме минимизации неотрицательной функции

$$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \operatorname{argmin} (h_p - h_k)^2, \quad (10)$$

где $h_k = 70$ км.

Решение задачи (10) проводилось при различных углах $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, $n=1 \div 8$ и значениях:

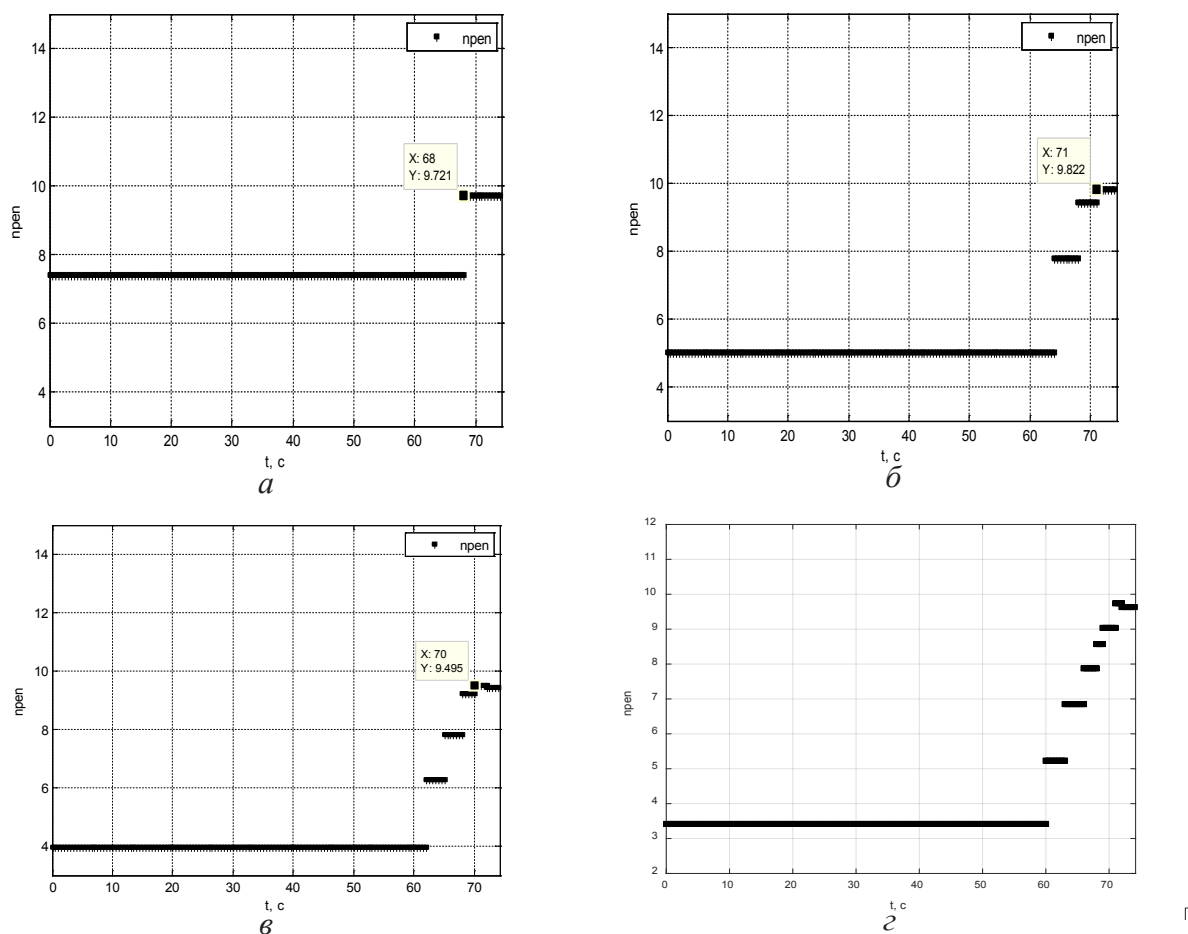


Рис. 3. Графики изменения полной перегрузки при решении оптимизационной задачи (7) с релейным изменением угла атаки на входном участке полета: а) $n=2$; б) $n=4$; в) $n=6$; г) $n=8$

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$V_0 = 7000 \text{ м/с}$, $\theta_0 = -8 \text{ град}$, $h_0 = 100 \text{ км}$.

Из теории спуска ЛА в атмосфере известно, что большое значение баллистического коэффициента B действует как дополнительная выталкивающая сила подобно подъемной силе, создаваемой аэродинамическим качеством K . Из рисунков 1 следует, аэродинамическое качество K при $\alpha > 5,96$ начинает убывать. Баллистический коэффициент, возрастает и поэтому его вклад на выталкивающую силу становится определяющим.

Поэтому целесообразно рассмотреть в оптимизационной задаче (9) влияние на высоту нижнего рикошета больших углов атаки.

При $n=1$ и постоянном угле атаки $\alpha=45 \text{ град}$ имеем следующие кинематические параметры в точке нижнего рикошета траектории полета: $t_p = 63,42 \text{ с}$; $V_p = 5261,90 \text{ м/с}$; $\theta_p = 0 \text{ град}$; $h_p = 47,59 \text{ км}$; $L_p = 422,0 \text{ км}$ (рисунк 4).

На рисунке 4 по графикам изменения кинематических параметров видно, что при спуске ГЛА кривизна траектории меняется в точке пересечения с высотой равновесной кривой h_{PK} , которая находится по формулам:

$$h_{PK} = -\ln(y_{PK}) / \beta, y_{PK} = \mu \cdot \cos(\theta_0) \cdot (1 - a^2); \quad (11)$$

$\lambda = g \gamma^2 / (\beta V_0^2)$; $\mu = \lambda / v$; $v = K \gamma / 2$; $a = V_0 / \sqrt{g(R+h)}$; $\sqrt{}$ – оператор извлечения квадратичного корня;

$g = g_0(R/(R+h))^2$ – ускорение силы тяжести на высоте h ;

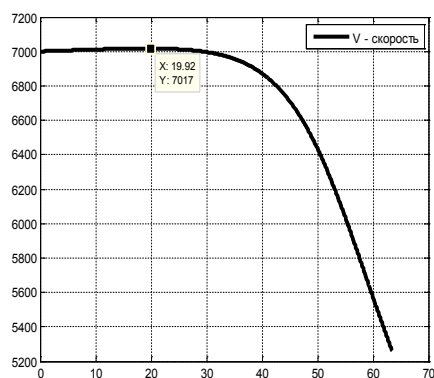
$\gamma = 1/(BC_a)$ – безразмерные параметры редуцированной модели движения ЛА;

$C_a = \rho_0/\beta = 8626,76 \text{ кг/м}^2$ – параметр планеты Земля; $\rho_0 = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – плотность атмосферы на уровне моря;

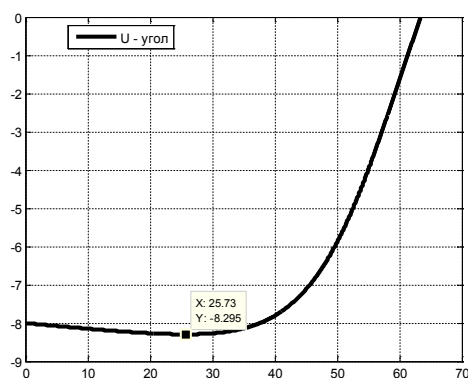
$g_0 = 9,80665 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения на высоте уровня моря.

Формулы (11) равновесной кривой получают-ся из условия равенства нулю производной $\frac{d\theta}{dt} = 0$ из второго уравнения системы (1), которая означает равенство суммы подъемной силы, силы тяжести и центробежной силы. Высота, на которой траектория ЛА пересекает равновесную кривую y_{PK} , при $\alpha = 45 \text{ град}$ составляет $h_{PK} \approx 74,1 \text{ км}$.

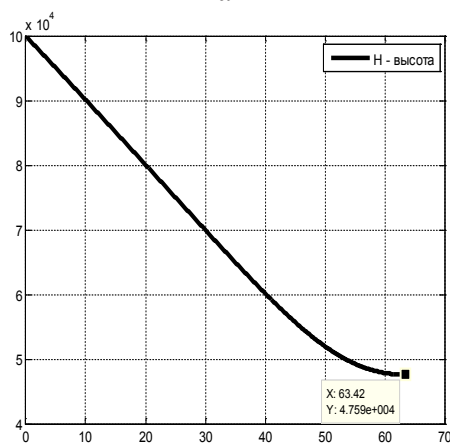
Если исходными данными при решении оптимизационной задачи (9) при $n=2,4,6,8$ считать значения углов атаки $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = (45, 45, \dots, 45)$,



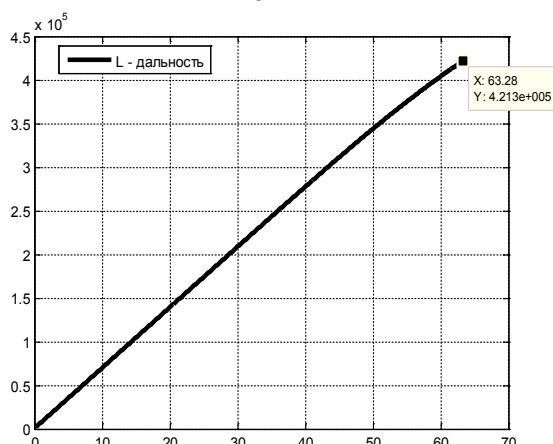
а



б



в



г

Рис. 4. Изменение траекторных параметров при $n=1$ и $\alpha=45 \text{ град}$ от начальных условий входа в атмосферу $V_0=7000 \text{ м/с}$, $\theta_0=-8 \text{ град}$, $h_0=100 \text{ км}$ до точки нижнего рикошета

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Таблица 2
Значение параметров в точке нижнего рикошета ($\theta p=0$) при $n=2,4,8$

Оптимальные значения ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$), град		$B, \text{м}^2/\text{кг}$ K	$t_p, \text{с}$	$V_p, \text{м/с}$	$h_p, \text{км}$	$L_p, \text{км}$	$n_{\text{пер}}$
$n=2$	46,78; 47,61	0,0045 0,547	63,35	5269,8	47,60	421,9	10,2
$n=4$	46,50; 47,28; 47,55; 47,77	0,0045 0,543	63,34	5264,8	47,60	421,9	10,5
$n=6$	46,35; 47,10; 47,34; 47,52; 47,68; 47,83	0,0045 0,541	63,34	5264,3	47,60	421,9	10,2
$n=8$	46,25; 46,99; 47,21; 47,37; 47,50; 47,62; 47,74; 47,85	0,0045 0,541	63,34	5263,8	47,60	421,9	10,2

то результаты сходимости к максимальной высоте в точке нижнего рикошета приведены в таблице 2.

Изменение оптимальных значений углов атаки приведены на графиках рисунка 5. На этих рисунках для удобства сравнения представлены парные графики различных значений ступенчатого управления по углу атаки ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$), $n=2,4,6,8$.

Графики рисунка 5 показывают ступенчатое возрастание угла атаки перед точкой нижнего рикошета, что соответствует возрастанию баллистического коэффициента B . В таблице 2 в крайнем правом столбце приведена максималь-

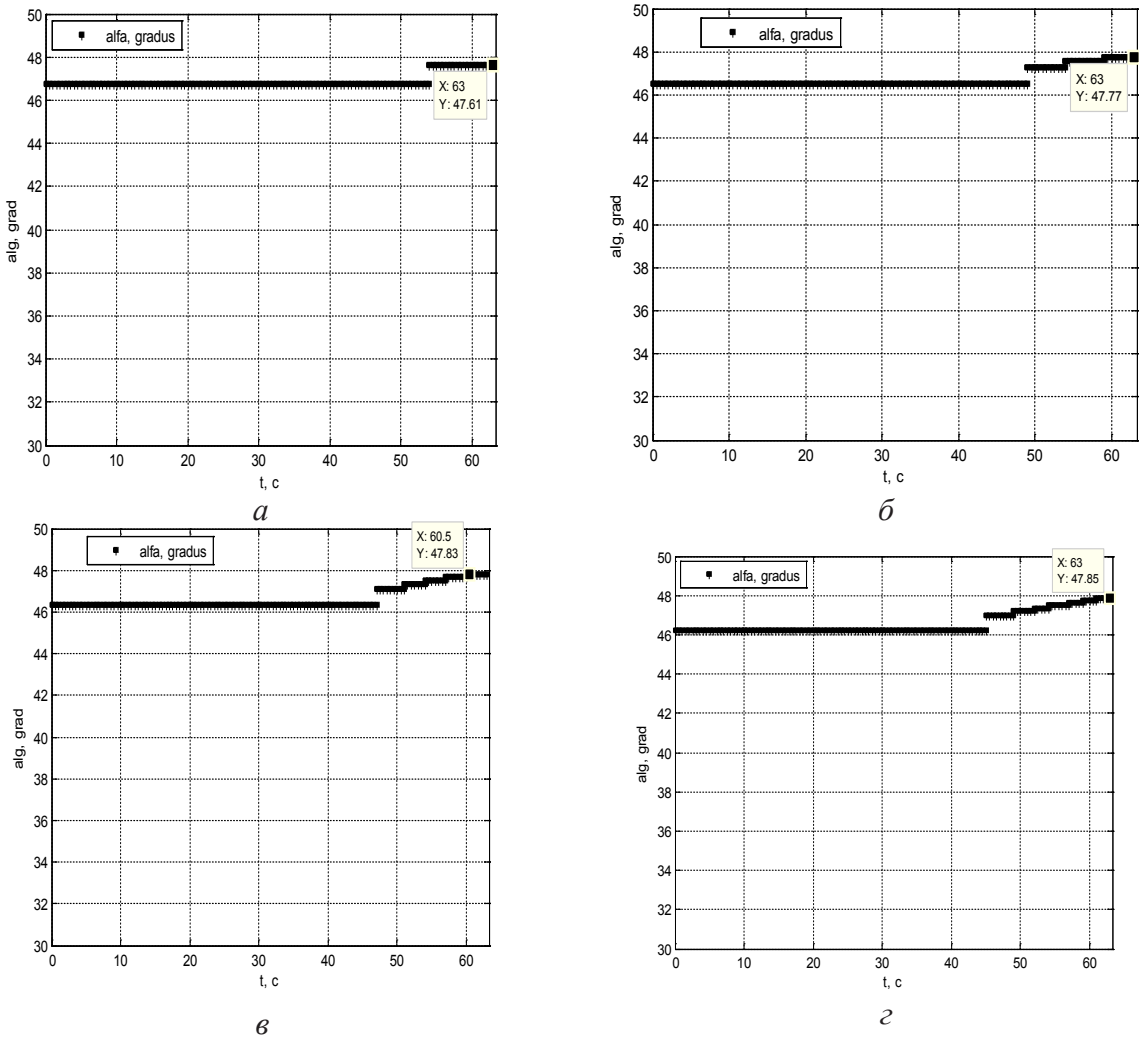


Рис. 5. Изменение значений угла атаки при $n=2,4,6,8$ от начальных условий входа в атмосферу $V_0=7000 \text{ м/с}$, $\theta_0=-8 \text{ град}$, $h_0=100 \text{ км}$ до точки нижнего рикошета

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Таблица 3
Кинематические параметры в точке нижнего рикошета ($\theta_p=0$) при $n=2,6,4,8$

Оптимальные значения ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$), град		$B, \text{м}^2/\text{кг}$ K	$t_p, \text{с}$	$V_p, \text{м/с}$	$h_p, \text{км}$	$L_p, \text{км}$	$n_{\text{пер}}$
$n = 2$	54,39; 14,81	0,00035 2,058	79,56	5372,0	43,60	560,54	2,82
$n = 4$	47,04; 47,74; 49,24; 8,41	0,00015 2,55	91,81	5467,2	44,40	579,55	1,32
$n = 6$	31,03; 33,26; 29,96; 25,09; 28,19; 0,95	0,00005 2,00	116,8	6111,8	40,55	764,31	0,89
$n = 8$	31,36; 31,14; 29,45; 28,07; 26,12; 24,39; 14,86; 0,49	0,00005 1,87	121,1	6149,8	41,09	776,56	0,72

ная величина полной перегрузки, которая достигается именно в окрестности точки нижнего рикошета. Это показано на графиках *рисунка 6*.

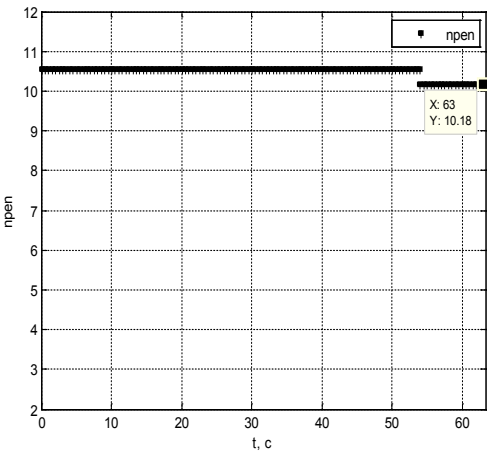
Из *рисунков 6* следует, что максимальная перегрузка достигается не в точке нижнего рикошета, а в близкой окрестности перед ней и составляет порядка 11g.

Третья оптимизационная задача

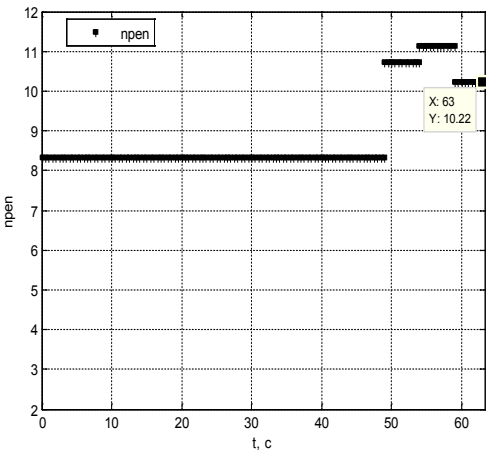
Оптимизационная задача по уменьшению значения полной перегрузки в точке нижнего рикошета при ступенчатом законе изменения угла атаки имеет вид

$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \operatorname{argmax}_p n_p. \quad (12)$

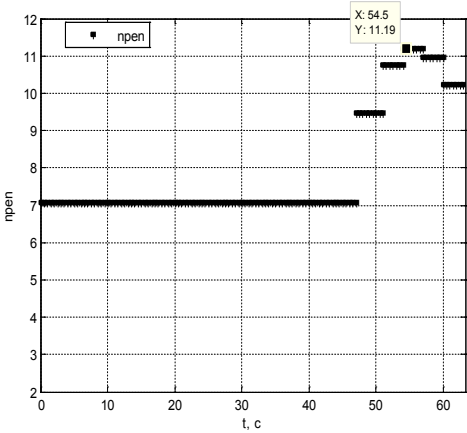
Решение задачи (12) проводилось при раз-



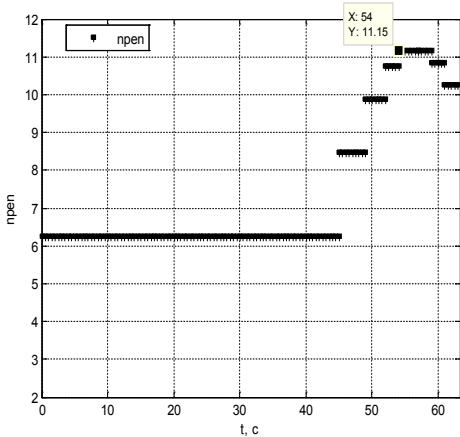
а



б



в



г

Рис. 6. Изменение величины перегрузки при $n=2,4,6,8$ при ступенчатом законе изменения угла атаки $\alpha_n \in [45; 50]$ град от начальных условий входа в атмосферу $V_0=7000 \text{ м/с}$, $\theta_0=-8 \text{ град}$, $h_0=100 \text{ км}$ до точки нижнего рикошета

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

личных углах $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, $n=1 \div 8$ и начальных условиях входа в атмосферу: $V_0=7000$ м/с, $\theta_0=-8$ град, $h_0=100$ км. Результаты решения сведены в таблицу 3.

Изменения оптимальных значений углов атаки приведены на графиках рисунка 7. На этих рисунках для удобства сравнения представлены парные графики различных значений ступенчатого управления по углу атаки $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ $n=2, 4, 6, 8$.

В таблице 3 в крайнем правом столбце приведена максимальная величина перегрузки, которая достигается именно в окрестности точки нижнего рикошета. Это показано на графиках рисунка 8.

Из графиков рисунка 8 следует, что минимальная перегрузка достигается в окрестности около точки нижнего рикошета и составляет порядка $1 \div 3g$. Максимальное значение перегрузки достигается в средней части траектории спуска и составляет $7 \div 12,5g$. Наиболее благоприятным с небольшими величинами перегрузки $1 \div 7$ яв-

ляется участок спуска с восемью ступенями изменения угла атаки (рисунк 8г). Кинематические параметры и значения перегрузок для восьми шагового управления по углу атаки представлены в таблице 4.

При этом участок планирования в атмосфере до точки нижнего рикошета значительно удлиняется по времени и по протяженности. Такой длительный спуск именно и приводит к снижению перегрузки с $11 \div 12g$ до $\max n_p \approx 7g$.

Заключение

Рассмотренные оптимизационные задачи позволяют сделать следующие выводы:

- оптимизационная задача (7) достижения максимальной скорости в точке нижнего рикошета имеет решение в области максимального аэродинамического качества при углах атаки $\alpha_i \approx 6$ град, $i=1, \dots, 8$ (рисунк 1а);
- оптимизационная задача (9)-(10) достижения максимальной высоты в точке нижнего рикошета имеет решение в окрестности наи-

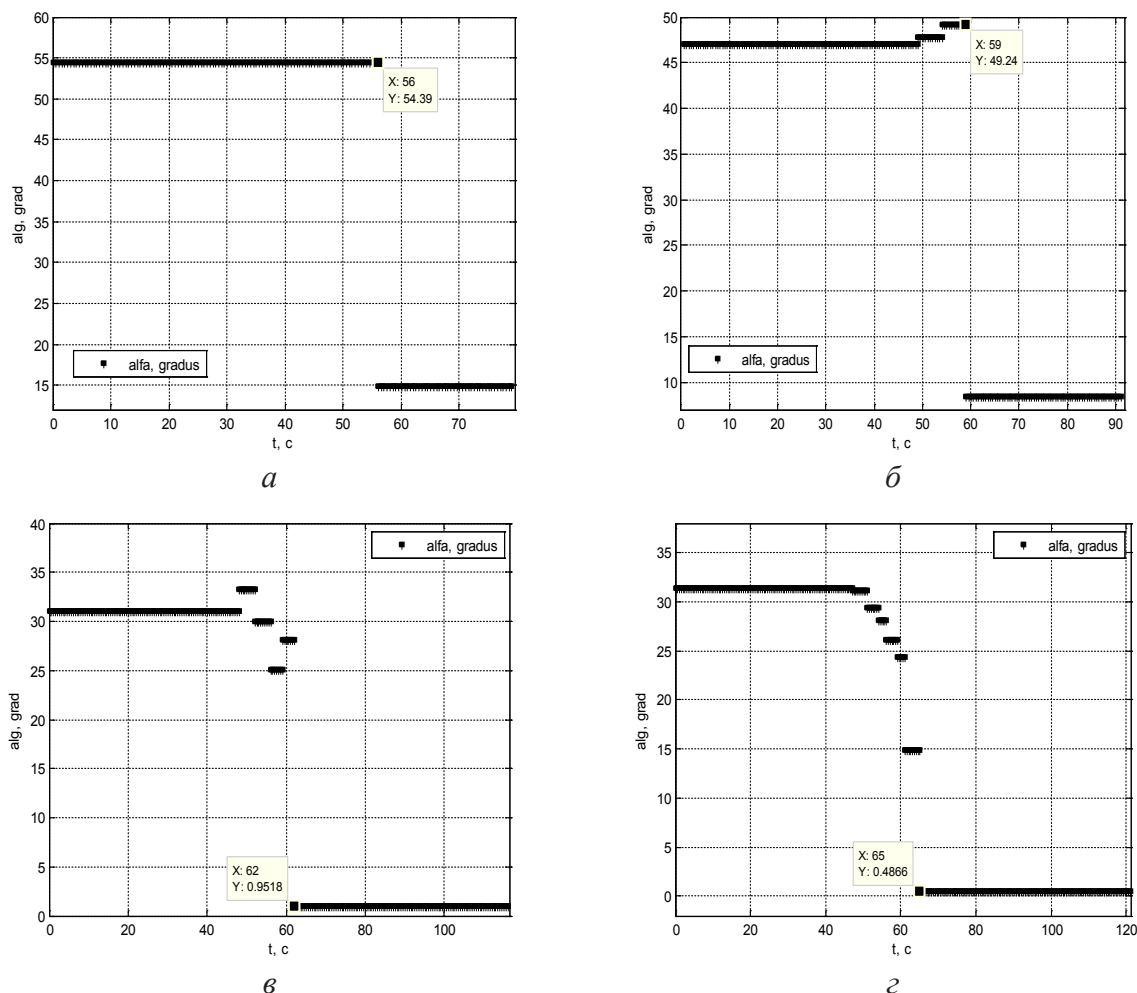


Рис. 7. Изменение угла атаки при $n=2, 4, 6, 8$ от начальных условий входа в атмосферу $V_0=7000$ м/с, $\theta_0=-8$ град, $h_0=100$ км до точки нижнего рикошета

Таблица 4
Значение кинематических параметров траектории при $\alpha_i, i=1,\dots,8$

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha_i, \text{град}$	31,36	31,14	29,45	28,07	26,12	24,39	14,86	0,49
n_p	4,30	5,82	6,48	6,85	6,72	6,42	3,34	0,72
$t_{\text{ср}}, \text{с}$	47,45	3,79	2,91	2,49	2,36	2,33	4,28	55,52
$V, \text{м/с}$	6864	6749	6643	6544	6454	6370	6310	6150
$\theta, \text{град}$	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
$h, \text{км}$	53,1	50,2	48,3	47,0	46,1	45,4	44,7	41,1
$L, \text{км}$	328,9	25,6	19,4	16,4	15,3	14,9	27,1	346,2

большого значения коэффициента аэродинамического торможения $c_{\text{xa}} \alpha_i \approx 45 \div 46 \text{ град}, i=1,\dots,8$ (рисунок 1а);

● наибольшая высота нижнего рикошета обеспечивается за счет выталкивающей силы атмосферы, которая воздействует на ЛА при большом значении c_{xa} и B – баллистического коэффициента, но при этом ЛА испытывает сильное торможение, поэтому ЛА теряет в скорости по сравнению с первой оптимизационной задачей с 6670

до 5270 м/с;

● оптимизационная задача (12) минимизации значения полной перегрузки в точке нижнего рикошета при ступенчатом законе изменения угла атаки имеет решение при убывающем законе изменения угла атаки с $31,4^\circ$ до $0,5^\circ$;

● большие значения угла атаки в начале спуска $h=100 \div 50,2 \text{ км}$ приводят к замедлению скорости $V=7000 \div 6749 \text{ м/с}$ в верхних слоях атмосферы при умеренных значениях перегрузки

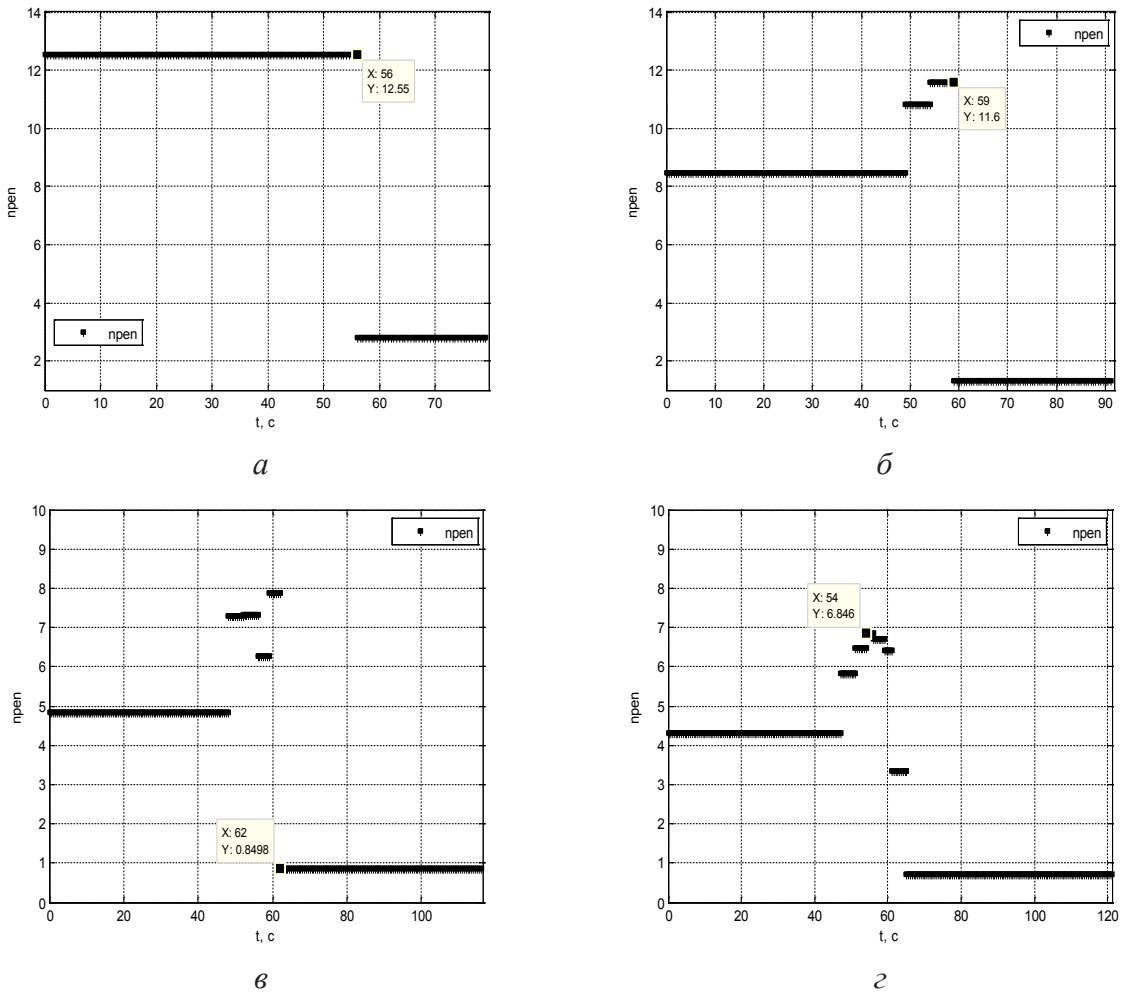


Рис. 8. Изменения величины перегрузки при $n=2,4,6,8$ и ступенчатом законе изменения угла атаки $\alpha_n \in [45; 50] \text{ град}$ при начальных условиях входа в атмосферу $V_0=7000 \text{ м/с}, \theta_0=-8 \text{ град}, h_0=100 \text{ км}$ до точки нижнего рикошета

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$n_p = 0 \div 5,8g$ и обеспечивают в средних слоях атмосферы $h = 50,2 \div 41,1$ км в дальнейшем умеренные перегрузки $n_p \approx 5,8g$;

- средние участки полета с практически постоянными перегрузками $n_p = 6,5 \div 6,4g$ при углах атаки $\alpha_i = 29,5 \div 24,4$ град, $i = 3, \dots, 6$ являются кратковременными и мало протяженными $t_{cp} = 2,3 \div 2,9$ с и $L = 14,8 \div 19,4$ км. Это объясняется дальнейшим спуском с нарастанием плотности атмосферы, и уменьшением углов атаки;

- третья оптимизационная задача достижения в точке нижнего рикошета наименьшей перегрузки стоит между предыдущими оптимизационными задачами: в начале полета углы атаки сосредоточены около максимальных значений баллистического коэффициента, а в конце полета углы атаки сосредотачиваются около значений максимального аэродинамического качества;

- для дальнейшего снижения перегрузки при спуске в атмосфере необходимо уменьшить начальный угол входа $\theta_0 = -8$ градусов;

- реальный спуск ЛА будет проходить при комплексном критерии, состоящим из комбинации трех предыдущих оптимизационных задач.

Литература

1. Горбатенко С.А., Макашов Э.М., Полушкин Ю.Ф., Шефтель Л.В. Механика полета. Общие сведения. Уравнения движения. Инженерный справочник. М.: Машиностроение, 1969. 420 с.
2. Нестеров Е.П. Прикладная механика управляемого в атмосфере полета гиперзвуковых летательных аппаратов. Серпухов: МО СССР, 1986. 86 с.
3. Ярошевский В.А. Вход в атмосферу космических летательных аппаратов. М.: Наука, 1988. 336 с.
4. Разоренов Г.Н. Системы управления летательными аппаратами: учеб. для вузов / Э.А. Бахрамов, Ю.Ф. Титов; под ред. Г.Н. Разоренова. М.: Машиностроение. 2003. 584 с.
5. Ефремов А.В., Захарченко В.Ф., Овчаренко В.Н., Суханов В.А. Динамика полета. Под ред. Г.С. Бюшгенса. М.: Машиностроение, 2011. 776 с.
6. Руденко Э.М. Определение оптимальной массы гиперзвукового летательного аппарата // Сборник «Труды Московского института теплотехники», 2016. Т.16. Ч.1. С.184-190.



ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА

УДК 004.8.004.9

БАЗИСНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОНОМИЗАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ BASIC PRINCIPLES OF AUTONOMIZATION OF MILITARY ROBOTIC SYSTEMS BASED ON INTELLECTUALIZATION

Алексей Игоревич Бугаков

старший научный сотрудник
группы разработки веб-приложений
отдела защищенных телекоммуникационных
систем и комплексов
АНО «Институт инженерной физики»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967) 35-31-93
E-mail: aibugakov@iifmail.ru

Игорь Александрович Бугаков

заслуженный изобретатель РФ,
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
член Научного совета при Президиуме РАН
по методологии искусственного интеллекта и
когнитивных исследований
вице-президент
АНО «Институт инженерной физики»
по инновационным проектам
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: iabugakov@iifmail.ru

Аннотация

В статье в виде базисных принципов приводятся рекомендации по интеллектуализации робототехнических комплексов, обеспечивающие автономность их функционирования при решении ответственных задач военного назначения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, генетический базис, робототехнический комплекс военного назначения, автономизация, понимание, точность, живучесть, безопасность, интеграция, сложность, фило-генез, онтогенез, модель мира, иерархия, многосредность, мультимодальность, групповое применение, кодирование, унификация, масштабируемость, ответственность.

Annotation

In the article, in the form of basic principles, recommendations are given for the intellectualization of robotic systems, which ensure the autonomy of their functioning in solving critical military tasks.

Keywords: artificial intelligence, genetic basis, military robotic complex, autonomization, understanding, accuracy, survivability, security, integration, complexity, phylogenesis, ontogenesis, world model, hierarchy, multi-environment, multimodality, group application, coding, unification, scalability, responsibility.

Стратегический путь развития техники – ее частичная или полная автономизация на основе применения технологий искусственного интеллекта (ИИ). Интеллектуализация техники (в том числе военного назначения – ВН) посредством внедрения в нее обладающих интеллектуальными свойствами компонентов, придающих технике способность решать поставленные (человеком) задачи с формированием новых эффективных алгоритмов достижения конечной цели, не имеет альтернатив и становится все более широкомасштабной.

Исследованию вопросов применения ИИ в военном деле, его использованию для повышения автономности (и, как следствие, эффективности) робототехнических комплексов военного назначения (РТК ВН) посвящено много публи-

каций (см., например, [1-4]). Вопросы, касающиеся сущности ИИ, его предназначения, использования в РТК ВН, признаков и уровней, базисных структур, целесообразности унификации и разработки универсальной технологии интеллектуализации, обязанности дополнения современных технологий «глубокого обучения» технологиями «глубокого понимания» как единственного пути создания «настоящего» ИИ и др. подробно рассмотрены в [5-14].

Очевидно, что оператор систем дистанционного управления РТК ВН сегодня становится «слабым» звеном, поскольку в современных условиях ведения боевых действий возможно подавление радиоканала управления, перехват управления, подмена передаваемой информации. Человек-оператор имеет недопустимо вы-

сокую для современного боя инерционность поведения вследствие природной ограниченности быстродействия человека и удаленности от места событий. Он не способен в режиме реального времени проводить анализ большого объема сенсорной информации, подвержен стереотипам и эмоциям, на качество принимаемых им решений влияет его психофизиологическое состояние. Уже сегодня можно говорить о таких преимуществах ИИ перед человеком как:

- отсутствие ограничений по размерам и энергопотреблению;
- большая вычислительная мощность, способность быстрой параллельной обработки огромного объема разнородной информации;
- возможность объединения в единую (иерархически-сетевую) эффективную систему многих ИИ разного уровня «развития» и функционального предназначения;
- практическое «бессмертие» отдельного ИИ, способность неограниченно тиражировать накопленный им опыт и объединять его с опытом, полученным от других ИИ;
- возможность иметь значительно более развитые и дополненные «органы чувств» (сенсоры);
- тело носителя ИИ и его органы действия, способные совершать работу в материальном мире, могут быть любого размера и любой удобной для выполнения специализированных задач формы;
- возможность применения роботов с ИИ в условиях, нахождение человека в которых недопустимо;
- способность действовать в рамках строго определенных правил, неподверженность при принятии решений присущим человеку эмоциям (страх, ненависть,...), усталости (круглосуточная работа), личным пристрастиям;
- способность на основе функционального подхода («функционализм») эффективно решать частные многие полезные практические задачи, не соблюдая природное (для живых организмов) требование о соответствии уровней развития интеллекта и тела и др. [12].

В целом, говоря о конечных целях, автономизация военной и специальной техники на основе интеллектуализации позволяет: высвободить личный состав для решения других задач, сохранив человеческие жизни; решать задачи в условиях, нахождение в которых для человека недопустимо в связи с опасностью (радиация, завалы,...) или невозможностью (размеры); повысить качество (эффективность) действий (например, точность и (или) быстроту реагирования) по сравнению с человеком.

Однако искусственные нейронные сети (то, с чем сегодня обычно ассоциируют ИИ) обладают ограничивающими (во многих случаях – исключительными) их применение в РТК ВН недостатками, к которым можно отнести [9-12]:

- необходимость для обучения ИИ иметь репрезентативную выборку большого объема, что возможно далеко не всегда (как по объему, так и по качеству)¹;
- обязательность наличия мощных вычислительных ресурсов для обработки большого объема данных при решении сложных задач, что возможно, как правило, только в стационарных условиях;
- способность ИИ грубо ошибаться, в том числе и из-за «чрезмерной интерпретации» и плохой обработки пограничных случаев;
- легкость целенаправленного обмана ИИ (в частности, посредством «отравления» данных для первичного обучения);
- непредсказуемость путей достижения и несоответствие результата поставленной цели;
- непрозрачность как невозможность объяснить (понять человеком) основания принятия ИИ того или иного решения. Следствие – недоверие к решениям ИИ, опасность использования ИИ в ответственных случаях (применительно к боевым или обеспечивающим боевые действия системам военного назначения – недопустимость);
- катастрофическая забывчивость, когда обучение новому ведет к забыванию прежнего опыта, невозможность в большинстве случаев в процессе функционирования улучшать полученный при первичном обучении «опыт» на основе новых примеров;
- отсутствие у ИИ эффективной (для своих условий применения), достаточно жесткой и слабоуязвимой (для внешних атак) генетической составляющей;
- возможность злонамеренного использования ИИ с последствиями, сопоставимыми с последствиями применения оружия массового поражения;
- сложность контроля развития самообучающегося ИИ. Опасность бесконтрольного саморазвития ИИ, особенно в случае появления групп («видов») ИИ, объединенных общностью происхождения, выполняемых задач, сформировавшихся «интересов».

Основная причина этих недостатков – отсутствие того, что является ключевым признаком любого естественного интеллекта, – понимания,

¹ В условиях неопределенностей реального боевого применения такую априорную выборку для обучения получить крайне сложно.

опирающегося на видовую (филогенетическую) и индивидуальную (онтогенетическую) модель мира (ММ) с свойствами и отношениями ее объектов, ассоциативными и причинно-следственными связями, языком описания и др. Основа такой модели в живых организмах задается генетически, проявляясь (для сложного организма далее развиваясь) в процессе индивидуального существования организма посредством совершения им целенаправленных (основная цель – выживание) действий в своей среде обитания. Это касается любого живого существа, включая человека. В простых организмах реализуется только видовое генетическое понимание, в сложных – видовое генетическое понимание дополняется индивидуальным онтогенетическим. Как следствие, поведение простых организмов представляет собой набор инстинктивных неизменных действий, основу поведения сложных составляют формируемые в процессе жизни индивидуальные (но базирующиеся на видовых возможностях мозга и тела) целесообразные рефлексы и автоматизмы поведения. Основная операция интеллекта – распознавание, основное предназначение – предвидение (распознавание будущего) [11].

Говоря об основах автономизации РТК ВН, прежде всего необходимо определиться с понятием «робототехнический комплекс». Учитывая, что понятие «робот» в общепринятом понимании предполагает наличие у называемого так искусственного (технического) устройства способности автономно совершать целенаправленные действия, под РТК логично понимать техническую систему в составе одного или нескольких роботов и обеспечивающего его (их) функционирование вспомогательного оборудования, предназначенную для выполнения одной или нескольких задач (в частности – военного назначения)². Причем действия РТК может совершать как в физической, так и в виртуальной реальности (киберпространстве) [13,14], которая, строго говоря, не менее материальна, чем

реальность физическая³, оказывая на физическую реальность все большее влияние. Именно с этих позиций, учитывая возрастающую важность информационной составляющей в современном мире (в том числе – в военном противостоянии различного масштаба), целесообразно рассматривать разновидности РТК.

К базисным показателям качества РТК ВН разумно отнести предложенную много лет назад одним из авторов этой статьи триаду: *точность* (способность выполнить свое предназначения с заданной эффективностью в нормальных условиях функционирования), *живучесть* (способность функционировать в экстремальных, несовместимых с длительным существованием, условиях с постепенной (не катастрофичной) потерей эффективности), *безопасность* (для владеющей этой техникой стороны как на этапе эксплуатации, так и на этапе применения). Разделение во времени процессов эксплуатации и применения, а на этапе применения – на движение к цели и ее поражение позволяют в ряде случаев на каждом временном интервале сосредоточиться на главном показателе. Интеллектуализация призвана повысить значения этих показателей.

Основным механизмом эволюции является *системная интеграция* - объединение ранее разрозненного в единое целое, обладающее новыми, не присущими объединяемым частям, свойствами (эмерджентность). Это касается как отдельного организма, состоящего из различных органов, так и поведения совокупности одинаковых организмов (системы, как известно, бывают двух типов: из разных элементов и из одинаковых элементов⁴). Одним из проявлений интеграции в современном мире является глобализация, причем не только в экономике. Ее важнейшим стимулирующим фактором является информатизация, которая не могла не повлиять на способы и средства противоборства, включая способы и средства подготовки и ведения боевых действий. Не случайно все более обсуждаемой становится реализуемая (?!) США «Концепция многосферных боевых действий» [15], в соответствии с которой наиболее эффективным способом нанести противнику стратегиче-

² Данное в [18] определение РТК, робот в составе которого определяется как «исполнительный механизм, программируемый по двум и более степеням подвижности, обладающий определенной степенью автономности и способный перемещаться во внешней среде с целью выполнения задач по назначению», имеет явное отношение к промышленности, являясь неким продолжением станков с числовым программным управлением. К тому же это определение требует наличие «манипулятора», закрепленного на «механическом интерфейсе» «рабочего органа», так что вряд ли может полезно применяться для определения РТК ВН.

³ Вспомним о существовании поисковых роботов, которые совершают автономные действия по поиску запрошенной информации в Интернете. Никакого нарушения физических основ здесь нет. Любая информация для своего существования и переноса требует носителя. А он всегда материален, так что действия по обработке и передаче информации - действия над материальными объектами.

⁴ Например, человек состоит из разных органов, а целесообразная группа людей (коллектив, команда) – из одинаковых (по структуре) людей.

ское поражение является осуществления одно-временного ведения скоординированных боевых действий в различных сферах (концепции приписывают шесть: суша, море, воздух, космос, электромагнитное пространство и киберпространство). Очевидно, что такая координация требует получения и обработки больших объемов информации (как в локальном, так и в глобальном масштабах). Учитывая объем и разнообразность этой информации, разную степень достоверности, неопределенность и отсутствия некоторых составляющих, приоритетность фактора времени, обработка этой информации невозможна без привлечения ИИ⁵.

С учетом вышеизложенного в качестве обобщающих принципов отметим следующее. Прежде всего, обязательность наличия *генетического базиса*⁶, содержащего «видовой опыт». Любое живое существо с естественным интеллектом (ЕИ) рождается генетически предопределенным под среду обитания своего вида с возможностями соответствующих друг другу мозга и тела выживать посредством действий именно в этой среде. В генетику входят и полезные инстинкты, и табу, и возможности организма, и в целом программа развития организма, в соответствии с которой все более сложные свойства организма и возможности его поведения появляются и проявляются в свое время, базируясь на уже сформированном⁷.

Обязательным является и наличие *модели мира* в виде двух составляющих: филогенетически заданной базовой (входит в генетический базис) и развиваемой на ее основе в процессе функционирования онтогенетической. Это требует объединения современного нейрподхода с

классическим символьным подходом, возможностей статистического соответствия входа выходу с иерархически-сетевыми системами понятий и правил, описывающих свойства объектов, их отношения, правила взаимодействия, ассоциативные и причинно-следственные связи [10-14]. Наличие ММ является основой эффективного *дообучения и адаптации* ИИ, позволяет ИИ функционировать не только в пространстве или во времени (задачи распознавания и прогнозирования соответственно), а в *пространстве-времени*, опираясь не на статику, а на *динамику*, учитывая *контекст*, что является основой восприятия и обучения организмов с ЕИ.

Иерархичность структуры – следующий принцип. ЕИ любого живого организма иерархичен. Таким же должен быть и ИИ. Но, в отличие от ЕИ, которые нельзя физически соединить друг с другом, ИИ может быть соединен с любым количеством других ИИ как своего иерархического уровня, так и других уровней⁸. Исходя из этого, требуемый ИИ может быть сформирован путем активизации соответствующей (поставленной задаче, функции) части иерархически-сетевой структуры Общего ИИ (ОИИ)⁹. В рамках такого ОИИ, используя (объединяя) его составные (функциональные) части по аналогии с ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема), можно говорить о ПИИ (программируемом искусственном интеллекте) и целенаправленно формировать оптимальные структуры для решения требуемых частных задач с последующей (после выполнения задачи) декомпозицией (при необходимости) ПИИ на те же составные элементы, использовать одни и те же элементы в разных структурах¹⁰.

Иерархия сложности, согласно которой любая «сложная» задача разбивается на частные «простые» задачи, каждая из которых также может разбиваться далее на еще более мелкие «элементарные» задачи, целесообразно дополнить очевидной *иерархией «размеров»*, в соответствии с которой по мере упрощения задач уменьшаются

⁵ Например, для перенацеливания летящих МБР на основе спутникового мониторинга текущей ситуации. Или для поражения ракет противника на активном участке траектории выведенными на орбиту спутниками-перехватчиками [16]. А также для уничтожения стартующих из космоса ракет и (или) осуществления ответно-встречного удара, что, с учетом имеющихся публикаций (см., в частности, [17], где говорится о возможном оснащении американского беспилотного космолана Boeing X-37B ядерными боеприпасами) в ближайшем будущем может стать актуальным.

⁶ Базис здесь понимается не только в общем смысле как некий фундамент, основа, но и в математическом смысле как полный (для выполнения требуемых функций) набор линейно-независимых элементов, создающий то или иное пространство.

⁷ К сожалению, эта очевидная идея пока не находит широкого понимания у разработчиков ИИ. Выступающие в качестве «творцов» разработчики ИИ статистическое «обучение» искусственной нейронной сети на примерах считают достаточным для утверждения о появлении у нее «настоящего» ИИ.

⁸ Это и завораживает и пугает одновременно. В отличие от человечества, эволюционное формирование которого как единого, целостного социального организма далеко от завершения, причем, с учетом событий последнего времени, неизвестно, завершится ли оно благополучно, формирование единого ИИ может идти ускоренными темпами и необязательно в ту сторону, которая полезна человечеству.

⁹ Не в распространенном сегодня понимании как решающего разные задачи и соответствующего человеческому интеллекту, а как вбирающего в себя все возможные варианты ИИ.

¹⁰ Так же как отдельные нейроны живого организма одновременно работают в многих нейронных структурах.

размеры выполняющих их объектов с ИИ (но, как правило, растет их количество).

Очевидна целесообразность использования вышерассмотренной идеи *многосферности* (иначе – *многосферности*), связанной с использованием для достижения поставленных целей в зависимости от их уровня объемности и сложности всех возможных сред (земля, воздух, вода, космос, киберпространство, электромагнитное пространство). Это касается решения не только стратегических задач. Например, применительно к решению задачи охранения техники на марше речь может идти об РТК в виде специального наземного транспортного средства, оснащенного обычным вооружением, средствами электромагнитного поражения БПЛА, ведения РЭБ, средствами связи и др. и включающего в свой состав малогабаритные наземные и воздушные средства различного назначения и возможностей, охраняющие, в том числе, и свой носитель (транспортное средство). Для охраны стационарных объектов идея множественности средств с ИИ также сохраняется (см., например, [19]). Известны разработки с мультимножественными автономного перемещения (способны перемещаться по земле, воздуху, воде)¹¹.

Несомненна тенденция к *групповому применению* РТК, эффективная реализация которой невозможна без минимизации участия операторов дистанционного управления. Современная тенденция – использовать одного человека-оператора¹², управляющего поведением «старшего» группы, а задачи формирования (сохранение) нужного «строя», перераспределения функций в случае поражения одного или нескольких членов группы, избегания поражающего воздействия противника, противодействия противнику и др. решаются на основе «самоорганизации».

Целесообразна *мультимодальность восприятия*, позволяющая посредством регистрации поступающих сигналов различной физической природы в различных спектральных диапазонах формировать образы воспринимаемого в разных сигнальных пространствах, объединение которых позволяет при неопределенности в каждом пространстве в целом эффективно решать задачи распознавания и, в целом, реализации целесообразного поведения.

Эффективное применение РТК ВН с ИИ

¹¹ Для полета в них используют поворачивающиеся колеса с пропеллерами внутри. Или это может быть квадрокоптер с внешней речной сферической оболочкой, способный не только летать, но и катиться (за счет создаваемого пропеллерами воздушного потока) по поверхности.

¹² Заметим, что в будущем этим оператором может быть стационарный ИИ.

предполагает использование *помехоустойчивых способов кодирования информации*, обеспечивающих перевод сенсорных образов в перцептивные и позволяющих в дальнейшем оперировать этими образами при «мышлении» («внутренняя речь») и общении с другими ИИ и человеком («внешняя» речь как совокупность устной и письменной). Вероятнее всего, внутренняя речь человека не зависит от его расовой и национальной принадлежности, так что у всех людей на Земле ее код одинаков. Многообразие же вариантов внешнего языка человека¹³ можно попытаться объяснить случайным характером эволюции. Для РТК ВН с ИИ специфичным (оптимальным) может быть не только внешний, но и внутренний язык, определяемые условиями (средой) функционирования и выполняемыми функциями.

Как и в живом, в РТК целесообразно *вероятностное принятие решения* на всех иерархических уровнях распознавания с использованием байесовского подхода, иерархических скрытых моделей Маркова.

Очевидна целесообразность *унификации базисных элементов, типов и видов РТК*, используемых протоколов и пр.¹⁴, их *интегрируемость* (в новые конструкции) и *масштабируемость* (способность к наращиванию состава). Здесь может быть полезна идея *обобщенного ряда Фурье*, позволяющего представить различное целое в виде суммы (сверхсуммы!) базисных элементов со своими весовыми коэффициентами.

Вышеуказанная *живучесть* в экстремальных условиях может быть обеспечена посредством придания РТК с ИИ способности к реконфигурации с использованием для выполнения своего предназначения сохранивших работоспособность узлов и элементов, а также посредством дублирования (в том числе сенсорных каналов и каналов связи) и регенерации (самовосстановления).

Наконец, крайне важно обеспечивать *соответствие уровня допустимой автономности РТК уровню развития* его ИИ, что для систем ВН имеет определяющее значение.

В целом, настоящий ИИ должен иметь *психику* требуемого уровня развития, которая объединяет организм с внешним миром, позволяя его воспринимать, представлять, моде-

¹³ На Земле на сегодня насчитывается более 7000 языков

¹⁴ Ситуация, при которой каждый разработчик создает «уникальное свое», несовместимое с «уникальными творениями» других разработчиков, исходя из своего уровня развития и понимания, недопустима, ибо при таком подходе в лучшем случае можно получить «пиджак по Райкину» и потерю времени и средств, а в худшем – ... ?!

лизовать и, как следствие, совершать в нем целесообразные действия.

Литература

1. Хрипунов С.П., Чиров Д.С., Благодарщев И.В. Военная робототехника: современные тренды и векторы развития // Тренды и управление. – 2015. – № 4. – С. 410 - 422. DOI: 10.7256/2454-0730.2015.4.17117 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=17117
2. Галкин Д.В., Коляндра П.А., Степанов А.В. Состояние и перспективы использования искусственного интеллекта в военном деле // Военная мысль, 2021. №1. С.113-124.
3. Буренок В.М. Искусственный интеллект в военном противостоянии будущего // Военная мысль, 2021. №4. С.106-112.
4. Пшихопов В.Х., Гонтарь Д.Н., Мартьянов О.В. Концептуальные подходы к формированию сценариев боевого применения групп робототехнических комплексов // Системы управления, связи и безопасности, 2022. №3. С.138-182.
5. Бугаков И.А. Царьков А.Н. Базовая универсальная технология интеллектуализации ВВСТ: концептуальные идеи // Известия Института инженерной физики, 2015. №2(36). С.65-72.
6. Бугаков И.А. Базисные структуры интеллектуальной робототехники (бионический подход). Ч.1. Интеллект и поведение // Сборник трудов участников V Всероссийской научно-практической конференции «Современное непрерывное образование и инновационное развитие». Под ред. проф. А.Н. Царькова и проф. И.А. Бугакова. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2015. 966 с. С.102-109.
7. Бугаков И.А. О необходимости разработки методологии, теории и универсальной технологии интеллектуализации робототехники военного и специального назначения // Труды первой военно-научной конференции «Роботизация Вооруженных сил Российской Федерации». М., 2016. 422 с. С.87-89.
8. Бугаков И.А. Проблемы интеллектуализации робототехники военного и специального назначения // Материалы круглого стола «Пути повышения интеллектуализации робототехнических комплексов военного и специального назначения», 06.06.2017, Москва, ФГБУ «ГНИИЦ РТ» МО РФ, 2017. 292 с. С.48-58.
9. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Автономизация робототехнических комплексов военного назначения как ключевое направление повышения эффективности Вооруженных сил Российской Федерации // Труды второй военно-научной конференции «Роботизация ВС РФ» Москва, 2017.
10. Бугаков И.А. От глубокого обучения к глубокому пониманию (From Deep Learning to Deep understanding) // Известия Института инженерной физики, 2020. №3(57). С.95-102.
11. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Настоящий искусственный интеллект: методологические основания. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2020.-418 с.
12. Бугаков И.А. Настоящий искусственный интеллект в военном деле: Deep Learning + Deep Understanding // Известия Института инженерной физики, 2022. №3. С.100-105.
13. Бугаков И.А., Елистратов В.В., Царьков А.Н. О признаках и уровнях искусственного интеллекта. Концептуальные основания. Часть 1 // Известия Института инженерной физики, 2022. № 4(66). С.92-101.
14. Бугаков И.А., Елистратов В.В., Царьков А.Н., Бугаков А.И. О признаках и уровнях искусственного интеллекта. Концептуальные основания. Часть 2. // Известия Института инженерной физики, 2023, №2(68). С.91-101.
15. Концепция многосферных боевых действий. Дата публикации: 16.03.2023 // <https://bigenc.ru/c/kontseptsii-mnogosfernykh-boevykh-deistvii-a9b114/>
16. Пентагон выцеливает «Ярсы» и «Авангарды» из космоса. США обещают создать спутники-перехватчики ракет. Дата публикации: 19.01.2019 // <https://news.ru/weapon/pentagon-pro-rakety-kosmos/>
17. Новейший космоплан США сможет сбрасывать ядерные бомбы с орбиты. Фрагмент информационного канала от 18.11.2022 // <https://www.1tv.ru/shows/vremya-pokazhet/ostremymenty/noveyshiy-kosmoplan-ssha-smozhet-sbrasyvat-yadernye-bomby-s-orbity-ekspert-obispytaniyah-amerikanskogo-oruzhiya-fragment-informacionnogo-kanala-ot-18-11-2022>
18. ГОСТ Р 60.0.0.4-2019. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения.
19. Бугаков И.А., Бугаков А.И., Царьков А.Н. Интеллектуальная автоматическая система обнаружения нарушителей. Патент на изобретение № 2 721 178 с приоритетом от 13.12.2019 года. МПК G08B 13/00, G 06N 3/02.

УДК 519.21

ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ НАУЧНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ РОССИИ THE PROBLEM OF MANAGING THE SPATIAL SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF RUSSIA

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

Юрий Николаевич Артамонов
доктор технических наук
профессор кафедры экономики
городского хозяйства и жилищного права
Московский городской университет
Правительства Москвы им. Ю.М. Лужкова
Адрес: 107045, Москва, ул. Сретенка, д. 28
Тел.: +7 (495) 957-91-32

Аннотация

В статье рассматривается проблема управления пространственно-сбалансированным научно-технологическим развитием России. Определены методологические принципы управления. Раскрывается понятие индикативного управления на основе агрегированных показателей.

Ключевые слова: проблема, управление, баланс, научно-технологическое развитие, показатели.

Summary

The problem of managing the spatially balanced scientific and technological development of Russia is overviewed in the article. Methodological principles of management are defined. The concept of indicative management based on aggregated indicators is discovered.

Keywords: problem, management, balance, scientific and technological development, indicators.

Обеспечение устойчивого и сбалансированного пространственного развития Российской Федерации, направленного на сокращение межрегиональных различий в уровне и качестве жизни населения, ускорение темпов экономического роста и технологического развития, а также на обеспечение национальной безопасности страны является целью пространственного развития Российской Федерации, определяемой «Стратегией пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года». Для расширения географии и ускорения научно-технологического и инновационного развития Российской Федерации **необходимо решить проблему** обеспечения сбалансированности научно-технологического и социально-экономического развития перспективных крупных центров экономического роста Российской Федерации – муниципальных образований, городских агломераций [1].

В работах, посвященных понятийному аппарату в области научных исследований [2-10], описаны элементы системы взаимосвязанных формальных признаков научных исследований, которые позволяют построить иерархическую схему решения научных проблем (задач), заклю-

чающуюся в последовательной разработке:

- концепции (системы взглядов, единого замысла решения задачи);
- методологии (системы принципов, дающих характеристику научного исследования (объект, предмет, проблема или задача) и формирующих последовательность движения исследователя в процессе решения проблемы (задачи);
- теории (упорядоченной и обоснованной системы взглядов, суждений, положений, позволяющей адекватно объяснять факты, анализировать процессы, прогнозировать и регулировать их развитие; обобщать и систематизировать знания о предмете исследования, формулировать понятия, категории, суждения, умозаключения);
- метода (совокупности рациональных действий, которые необходимо предпринять, чтобы решить определённую проблему (задачу) или достичь определённой цели);
- методики (некоего готового «рецепта», алгоритма, процедуры для проведения каких-либо нацеленных действий).

Одно из центральных мест в решении научных проблем занимает разработка принципов, положенных в основу этих решений. Сформулируем основные принципы применительно к

решению проблемы управления пространственным научно-технологическим развитием России.

Принцип сбалансированного учета горизонтальных и вертикальных связей

Наличие системных связей между муниципальными образованиями в рамках субъекта РФ как вертикальных связей, под которыми понимается характеристика муниципального образования с точки зрения его веса внутри элемента более высокого уровня иерархии (субъекта РФ), так и горизонтальных, под которыми следует понимать характеристики внутренних связей между муниципальными образованиями. Наличие вертикальных и горизонтальных связей обуславливает необходимость формирования оценочных показателей муниципальных образований по направлениям, характеризующим вертикальные и горизонтальные связи.

В качестве показателей вертикальной связи: муниципальное образование – регион, направленных на оценку веса муниципального образования на региональном уровне, могут быть использованы различные агрегированные абсолютные показатели [11]. Для выявления же внутренних связей следует проводить кластеризацию [12–14] муниципальных образований по интересующим нас направлениям их развития. После выполнения кластеризации внутри каждого кластера выявляется группа лидеров с определением для них **реперной точки** (или нескольких реперных точек) как некоторых типовых элементов для каждого класса результативности или же типовых лидеров по разным направлениям деятельности (при большом количестве различных направлений деятельности).

Принцип иерархического управления

Построение иерархической сбалансированной системы управления опирается на то, что показатели, характеризующие вертикальные связи n -го уровня иерархии, определяются составляющими показателей, характеризующих горизонтальные связи $(n+1)$ -го уровня иерархии. При этом управление развитием n -го уровня иерархии должно быть направлено именно на горизонтальные связи, в частности, на возникновение, поддержание и коррекцию связей между элементами этой иерархии.

Принцип устойчивого развития

Реализация управления на n -м уровне иерархии должна быть построена по реперным точкам, выявленным внутри кластера. Поскольку по определению реперная точка – это типовой лидер, точечные воздействия будут проводиться

на этих лидеров по самым разным направлениям, обеспечивая сбалансированное развитие.

Принцип стратегического планирования и прогнозирования

Состав реперных точек для каждого направления кластеризации, а также сам перечень направлений кластеризации может пересматриваться с определенной периодичностью. Интенсификация периодичности пересчета реперных точек, а также перечня направлений кластеризации для n -го уровня иерархии должна выполняться на $n+1$ -м уровне иерархии, исходя из необходимости достижения плановых значений показателей реперных точек, характеризующих горизонтальные связи на $n+1$ уровне иерархии.

На основе рассмотренных принципов управления разрабатывается общая концепция стратегического управления, включающая вопросы стратегического планирования, разработки механизмов реализации стратегических планов, а также контроля получаемых результатов и создание эффективных механизмов обратной связи для возможной корректировки стратегических планов.

Наиболее адекватной формой стратегических планов является **индикативное планирование** [15–16], базирующееся на формировании системы показателей, характеризующих состояние и развитие региона по интересующим направлениям государственной научно-технической политики.

Немаловажным условием реализации такой концепции является как декомпозиция целевых индикаторов на измеримые показатели для каждого уровня, так и отбор наиболее информативных показателей для каждого направления деятельности.

С общей методологической точки зрения для построения показателей можно использовать показатели типа затраты – выпуск, трактуя их в расширенном смысле: вначале выделяются показатели фактических результатов (выпуска) – Q_i и фактических затрат (ресурсов) S_1 , далее следует рассмотреть показатели потенциальных результатов (перспективы выпуска) Q_2 , а также оценить показатели потенциальных затрат (ресурсов) S_2 характеризующих интересующее нас явление или процесс. Поскольку на более высоком уровне агрегации необходимо соотносить интенсивность распространения интересующего нас явления среди всех потенциально возможных явлений (Q_3 – всех фактических результатов, S_3 – всех фактических затрат), следует использовать показатели эффективности и интенсивности распространения, координации и структуры.

Использование таких показателей при определении направлений развития территориальных образований позволит реализовать вертикальные связи во всей системе территориальных образований: федеральный округ – регион – муниципальное образование. За счет выявления реперных точек развития, как элементов точечного финансового стимулирования на каждом соответствующем уровне территориального деления, появляется возможность согласовывать приоритеты разных уровней.

Таким образом, в основу решения научной проблемы обеспечения сбалансированности научно-технологического и социально-экономического развития перспективных крупных центров экономического роста Российской Федерации можно положить сформулированные основные принципы управления пространственным научно-технологическим развитием России и предлагаемый подход к построению информативных показателей, характеризующих состояние и развитие регионов и муниципальных образований по интересующим направлениям государственной научно-технической политики.

Литература

1. Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» // Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 29 марта 2019 г. № 377 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 31 марта 2021 г. № 518).
2. Баскаков В.В., Горбачев В.А., Дубовик Н.Н. Военная наука. Содержание, структура, организация. М.: МО РФ, 2000.
3. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: система формальных признаков // Известия Института инженерной физики, 2016, №3(41). С.84-95.
4. Гончаров С.С., Ершов Ю.А., Самохвалов К.Ф. Введение в логику и методологию науки. М.: Интерпракс, Новосибирск: Институт математики СО РАН, 1994.
5. Джабелов С.М., Печейкин А.И., Прозоровский В.В. Методология и методика исследования. М.: ВА РВСН, 2001.
6. Емелин Н.М. Теория и практика научных исследований. М.: Интерфизика, 2009. 320 с.
7. Злобин В.И. Метод абдукции и проблемы логики научных исследований. Серпухов: МО РФ, 1996.
8. Надеждин Е.Н., Сёмушкина Н.Н. Методология разработки кандидатской диссертации по техническим наукам: учебно-методическое пособие. М.: ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2015. 164 с.
9. Новиков А.М. Как работать над диссертацией: Пособие для начинающего педагога-исследователя. М.: «Эгвес», 2003. 104 с.
10. Сабитов Р.А. Основы научных исследований. Челябинск: ЧГУ, 2002.
11. Емелин Н.М. Системный анализ развития социально-экономических систем / Сборник трудов XXXIX Всероссийской НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем», 2020. Ч.3. С.137-147.
12. Peter J. Rousseeuw (1987). «Silhouettes: a Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis». Computational and Applied Mathematics. 20: 53-65. doi:10.1016/0377-0427(87)90125-7.
13. Leonard Kaufman; Peter J. Rousseeuw (1990). Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience. p. 87. doi:10.1002/9780470316801.
14. Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
15. Artamonov Yu.N. Analysis method of the information value of indicators / Yu.N., I.O. Kamantin // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1084 (2018) 012011 IOP Publishing DOI: 10.1088/1742-6596/1084/1/012011.
16. Артамонов Ю.Н. Управление индикативными параметрами целевых программ на основе механизмов бутстрэп-анализа // Известия Института инженерной физики, 2015. №1(35). С.71-75.



Ali Bushra. Graduate student. NUST MISIS. Moscow, Leninsky Prospekt, 4.

Arkhipov Alexander N. Assistant of the Department of Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2nd Bauman Street, 5, p. 4.

Artamonov Yuri N. Doctor of Technical Sciences. Professor of the Department of Urban Economics and Housing Law of the State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow City University of the Government of Moscow named after Yu.M. Luzhkov». Moscow, Sretenka street, 28.

Bessonov Maxim A. Candidate of Technical Sciences. MTUCI. Moscow, st. Aviamotornaya, 8a.

Blinov Kirill A. Master's student at NUST MISIS. Moscow, Leninsky pr-t., 4.

Boev Ilya S. Cadet. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Bugakov Alexey I. Senior Researcher, Web Application Development Group, Department of Secure Telecommunication Systems and Complexes. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udar'nyy l., 1a.

Bugakov Igor A. Honoured devisor of Russia. Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation. Doctor of Technical Sciences, professor. Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udar'nyy l., 1a.

Butrina Elena P. Head of the LISZI group, Interregional Educational Institution. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udar'nyy l., 1a.

Buzakin Ivan S. Cadet. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Chernov Ivan V. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Associate Professor of the Department of Cartography. Military space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

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 «STII». Moscow, Zorge street, 22.

Fedorova Veronica A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2-Baumanskaya str, 5, bil. 1.

Grinev Evgeny M. Graduate student. Department of Information Security of the Institute of Digital Development of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «North Caucasus Federal University». Stavropol, Pushkina str., 1.

Ivanin Evgeny M. Master's student at NUST MISIS. Moscow, Leninsky Prospekt, 4.

Kazakov Rafael' R. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Department of «Tactics of units and subdivisions of rocket and space defense». Military space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Khryachkov Maxim V. Graduate student. Tula State University. Tula, Lenin Avenue, 92.

Klyuchkin Alexander K. Adjunct of the Department of Onboard Information and Measurement Systems of Spacecraft. Military space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Kondakov Sergey E. Candidate of Technical Sciences. Associate Professor of the Department of Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2nd Bauman Street, 5, p. 4.

Konovalenko Dmitry V. Cadet. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Korobkov Alexey A. Honorary worker of science and high technology of the Russian Federation. Candidate of Technical Sciences, associate Professor, head of scientific and methodological Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udar'nyy l., 1a.

Kuchmenko Tat'yana A. Doctor of Chemical Sciences, Professor, head physical and analytical chemistry department. Voronezh state university of engineering technologies. Voronezh, Revolution Av., 19.

Kulik Maksim V. Senior Researcher of scientific and methodological Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udar'nyy l., 1a.

Kulish Olga A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Associate Professor. Associate Professor, Krasnodar Higher Military School named after Army General S.M. Shtemenko. Krasnodar, Krasina st., 4.

Kuzmin Nikita V. Graduate. MTUCI. Moscow, st. Aviamotornaya, 8a.

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.



Lesnykh Vadim N. Junior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Loskutov Sergei A. Candidate of Technical Sciences. Associate Professor. Associate Professor. Bauman Moscow State Technical University. Kaluga, Bazhenov str., 2.

Mazin Anatoly V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of «Information Security». Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Misyagin Andrey A. Software engineer. LLC «KIT INVEST». Kaluga, per. Small, 8.

Nakonechny Andrey B. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a, b.1.

Oleinikov Vladimir P. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor. An expert LISZI. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Osipov Georgy K. Doctor of Technical Sciences. Professor. Professor of the Department of Cartography. Military space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Popov Alexandr V. Adjunct of the Department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Poryadina Dar'ya A. Candidate of Chemical Sciences. Lecturer. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Force. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Prisyazhnyuk Sergey P. Doctor of Technical Sciences. Professor. CEO CJSC «Institute of Telecommunications». St. Petersburg, st. Kantemirovskaya, 5.

Prokhortsov Alexey V. Doctor of technical sciences, associate professor. Head of department of instrumentation and biotechnical systems «PBS», «Tula State University». Tula, Lenin Avenue, 92.

Rudenko Edvard M. Candidate of Technical Sciences. Associate Professor of the Department of Mathematics. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya St., 17.

Sadekova Al'fiya A. Junior Researcher of scientific and methodological Department. Institute of Engineering Physics. Moscow, Leninsky Prospekt, 4.

Sergeev Pavel M. Student. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya St., 17.

Shirokov Andrey I. Associate Professor of the Department of Engineering Cybernetics NUST MISIS. Moscow, Leninsky Prospekt, 4.

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 – Deputy Chairman of the Board of the Institute of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Smurov Sergey V. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, professor. First Vice President of the Institute – Chief Designer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Sychev Mikhail P. Doctor of Technical Sciences. Professor. Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1.

Usatkov Sergey V. Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Professor. Professor, Krasnodar Higher Military School named after Army General S.M. Shtemenko. Krasnodar, Krasin, 4.

Vikulov Ilya V. Student. Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1.

Volkov Gennadiy G. Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Professor. Senior Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udamny l., 1a.

Zakharov Vladimir L. Doctor of Military Sciences, professor. Full member of the Academy of Military Sciences. Professor. FSBEI of HE MAI (NRU). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Zelenevsky Anatoly V. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of Department. CJSC «Firm of Scientific and Technical Center «KAMI». Moscow, Heroes Panfilovtsev st., 10.

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 Yuri V. Doctor of Technical Sciences, associate professor. Researcher. Military Academy of the Strategic Missile Force. Moscow Reg., Balashikha, Karbysheva st., 8.



ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

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.

Многочисленная, 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.

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.

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

Korobkov A.A., Kulik M.V., Sadekova A.A.

Optimization of operating parameters of a nitrogen liquefier operating as part of a liquid methane supercooling system in refrigerated mode 2

Misyagin A.A.

Dual Pay payment technology for acquiring terminals 7

Sychev M.P., Usatkov S.V., Mazin A.V., Kulish O.A., Loskutov S.A.,

Optimization of parameters of integrated optical elements of the authentication subsystem of switching equipment fiber-optic lines 12

Poryadina D.A., Kuchmenko T.A., Buzakin I.S., Konovalenko D.V., Boev I.S.

Application of UV spectrophotometer for express determination of the operational properties of diesel fuels in the «on-site» mode 17

Prokhortsov A.V., Khryachkov M.V.

Phased array linear error compensation method 24

Lesnykh V.N. Kolombet V.A. Elistratov A.V.

Recurrent natural multipliers 30

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Zelenevsky V.V., Zelenevsky Y.V., Zelenevsky A.V., Popov A.V., Nakonechny A.B.

Optimization of parameters of correction codes in radio communication systems with spread spectrum using the method of direct modulation of the PSP 35

Zakharov V.L., Smirnov D.V., Kazakov R.R., Klyuchkin A.K.

Features of constructing block diagrams of spectral-zonal optical-electronic means 40

Prisyazhnyuk S.P., Osipov G.K., Chernov I.V.

Verbal model of the formation of a single geoinformation space 44

Grinev E.M.

Comparative analysis of the median interference field strength level in different seasons of the year 52

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Butrina E.P., Oleinikov V.P.

Attack – model and indicators 58

Kuzmin N.V., Bessonov M.A.

Security testing strategies for developed applications 67

Smurov S.V., Volkov G.G.

Generalized unitary symmetry groups in multidimensional teleportation 73

Blinov K.A., Ivanin E.M., Ali B., Shirokov A.I., Korobkov A.A.

Quality assessment of roads 2d depth maps constructed using MiDaS library 83

Fedorova V.A., Vikulov I.V.

Methodology of economic assessment under various failure scenarios in software-configurable networks 89

Kondakov S.E., Arkhipov A.N.

Mathematical model of an exploit embedded in a non-executable file 93

Rudenko E.M., Sergeev P.M.

Optimization tasks at the entrance section of the trajectory of the aircraft during descent in the atmosphere 96

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS

Bugakov A.I., Bugakov I.A.

Basic principles of autonomization of military robotic systems based on intellectualization 106

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUES.

COMMENTS

Emelin N.M., Artamonov Y.N.

The problem of managing the spatial scientific and technological development of Russia 112

AUTHORS

..... 115

THE ETHICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS

..... 117

REQUIREMENTS TO AUTHORS

..... 118

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 «Институт инженерной физики».

Адрес: 142210, Московская обл., г.о. Серпухов, г. Серпухов,

Большой Ударный пер., д. 1а, стр. 1.

Подписано в печать 2.08.2023.

Дата выхода в свет 11.08.2023. Тираж 2000 экз. Цена свободная.

© Автономная некоммерческая организация
«Институт инженерной физики», 2023.



Автономная некоммерческая организация
«Институт инженерной физики»