№ 2 +0
2021 [60]

научно-технический журнал

Известия

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Межрегиональное общественное учреждение
“Институт инженерной физики”
(научное, образовательное и производственное учреждение)

В НОМЕРЕ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО–ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

2 **Беркович С.Б., Бикмаев Р.Р., Котов Н.И., Шахов А.Н., Устинов В.В., Шолохов А.В.**
Оценка эффективности использования геопространственных данных в задаче автономного определения координат наземной навигационной системой

10 **Стельмах С.Ф., Басов Г.Б.**
Анализ состояния разработки и перспектив применения ракеты-носителя «Союз-5»

16 **Коробков А.А., Смородин А.И., Сергеев С.С., Кулик М.В, Садекова А.А.**
Анализ схемных решений процесса охлаждения криогенных продуктов, предназначенных для заправки ракеты-носителя

22 **Морозов А.Е., Бутранов А.С.**
Некоторые вопросы моделирования нестационарных тепловых процессов в многослойном пакете теплоизоляционных материалов с дополнительным нагреваемым слоем

27 **Захаров В.Л., Смирнов Д.В., Побережский С.Ю.**
Методы применения средств космического наблюдения

30 **Нефедов М.В., Александрова Д.И.**
Модель погрешности метода трех антенн для определения коэффициентов калибровки рамочных магнитных антенн

35 **Смуров С.В., Салько А.Е., Загарских В.И., Кузин Е.Н.**
Некоторые аспекты инициирования снаряжения в трансляторах детонационных команд

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

39 **Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Егоров В.В., Ржаных А.В., Джелаухян А.Ю., Наконечный Б.М.**
Статистический анализ помехоустойчивости и надежности релеевского канала связи декаметрового диапазона с кодовым уплотнением данных

45 **Атакищев О.И., Мухин А.И., Павленко Д.П., Свистунов Ф.Н.**
Выбор и адаптация статистического критерия для решения задач идентификации источников радиоизлучений

49 **Перунов Ю.М., Дмитриев В.Г., Куприянов А.И.**
Деструктивное воздействие на среду распространения сигнала в информационных радиоканалах

54 **Цимбал В.А., Людоговский Д.А.**
Исследование влияния дисциплины искания на качество услуг связи в системах с незакрепленными каналами, функционирующих в условиях неполнодоступности и неординарности трафика

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

59 **Коломбет В.А., Елистратов А.В., Лесных В.Н.**
О предпочтительных универсальных настройках мультирезонансных устройств

64 **Бут Г.С.**
Математическая модель процесса охлаждения воды в очистных сооружениях предприятий

69 **Грибунин В.Г., Гришаненко Р.Л., Тимонов А.А., Смирнов Я.Д.**
О проектировании системы защиты информации для информатизированных образцов вооружения

75 **Соколова Е.А., Юшкевич Н.А.**
Оценка скоростных характеристик алгоритма хранения трехмерных изображений

78 **Фролов П.В., Галуза Е.А., Мазин А.В., Леоновец Г.В., Дюжов С.А.**
Применение технологии Blockchain для хранения признаков сетевых атак в системах IDS

82 **Грачёв Д.В., Умников Е.В.**
О возможности и перспективах использования технологии искусственного интеллекта при создании систем защиты информации

86 **Бутрина Е.П., Олейников В.П.**
Защищенность – объекты и события

91 **Волков Г.Г., Масликов А.А., Смуров С.В.**
О генеалогическом древе квантовых состояний в торической проективной геометрии

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ

97 **Мурашов А.Г., Махаев А.Ю., Денисова О.А.**
Институт инженерной физики – участник Военного инновационного технополиса «ЭРА»

100 Библиотека Института инженерной физики

СОБЫТИЯ

101 Искусственный интеллект: ориентиры, перспективы, стратегии

103 **AUTHORS**

105 **ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ**

106 **ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ**

Научно-технический журнал

ИЗВЕСТИЯ Института инженерной физики

№2 (60) 2021

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

ISSN 2073-8110

Включен в «Перечень ВАК» по научным специальностям:
05.11.16. Информационно-измерительные и управляющие системы
05.12.13. Системы, сети и устройства телекоммуникаций
05.13.01. Системный анализ, управление и обработка информации
05.13.19. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Главный редактор, председатель редакционного совета и редакционной коллегии

Алексей Николаевич Царьков
Президент – Председатель Правления МОУ «ИИФ», заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Редакционный совет

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

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

Николай Михайлович Емелин
главный научный сотрудник ФГБНУ «Госметодцентр», 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

Александр Викторович Синьговский
старший научный сотрудник Европейского центра ядерных исследований (CERN), Adjunct Assistant Professor Университета Миннесоты (США), кандидат физико-математических наук

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

Александр Павлович Царёв
заведующий кафедрой компьютерных архитектур и телекоммуникаций Западно-поморского технологического университета (Польша), доктор технических наук, профессор

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

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 2 (60)
2021

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

Сергей Григорьевич Данилюк
доктор технических наук, профессор

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

Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
выпускающий редактор

Олег Павлович Кузнецов
кандидат технических наук, доцент

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор

Анатолий Викторович Мазин
доктор технических наук, профессор

Алексей Сергеевич Марков
доктор технических наук, старший научный сотрудник

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

Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук
заместитель главного редактора

Игорь Николаевич Оков
доктор технических наук, профессор

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

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

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

Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор

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

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

Олег Николаевич Андрух

Вице-президент МОУ «ИИФ»
почётный работник науки и техники РФ
кандидат технических наук, доцент

Одним из ключевых направлений развития МОУ «ИИФ» является освоение серийного и массового производства высокотехнологичной инновационной продукции на основе результатов проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Задача амбициозная, но сложная, требующая наличия современной производственно-технической базы, уникальных технологий производства, высококвалифицированных человеческих ресурсов. Министерство инвестиций, промышленности и науки Московской области, высоко оценивая многолетнюю научно-исследовательскую, опытно-конструкторскую и производственную деятельность Института, приняло Решение от 4 сентября 2020 года о создании в г.о. Серпухов Технопарка в сфере высоких технологий «Научно-технологический и фармацевтический производственный комплекс».

В настоящее время Институт завершает ввод в эксплуатацию производственного комплекса общей площадью свыше 6200 кв.м.; проведены работы по его подключению к сетям электро- и газораспределения, системам водоснабжения и водоотведения, интернет-каналу с высокой пропускной способностью, телефонной сети. Теплоснабжение осуществляется от собственной водогрейной газовой котельной; создана внутрипроизводственная дорожная сеть, система освещения и охраны территории. Крупным производственным объектом второй очереди является фармацевтический производственный комплекс общей площадью более 4500 кв.м., начало строительства которого запланировано на 3 квартал 2021 года, завершение – на 2 квартал 2023-го.

Институт является правообладателем ряда уникальных технологий, в том числе: информационно-коммуникационных (технологии производства программно-аппаратных комплексов, телекоммуникационного оборудования, средств защиты информации); технологий обеспечения безопасности и работоспособности человека (технологии производства автономных устройств пожаротушения; технологии производства автономных систем обеспечения микроклимата в пододежном пространстве); фармацевтических технологий (технологии производства особо чистого люминола и синтеза люминола натрия для изготовления экспрессных высокочувствительных систем хемилюминесцентного анализа; технологий производства активных фармацевтических субстанций; технологий производства лекарственных препаратов в различных лекарственных формах); и ряда других.

Успешному выведению на рынок высокотехнологичной продукции, услуг и технологий способствует интеграция потенциалов Института и ряда ведущих национальных НИИ, университетов, региональных промышленных предприятий, организаций, предоставляющих инновационную экономическую и технологическую инфраструктуру, иностранных компаний, с которыми заключены Соглашения о сотрудничестве.

Деятельность Технопарка в сфере высоких технологий будет содействовать не только совершенствованию деятельности Института, но и социально-экономическому развитию региона: будет создано свыше 350 высокотехнологичных рабочих мест с высокой оплатой труда; сформирован комплекс уникальных производственно-технологических компетенций; обеспечено поступление значительных налогов в городской, региональный и федеральный бюджеты; проведен ряд мероприятий по развитию городской территории.

УДК 629.3.051+519.876.5

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ АВТОНОМНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING GEOSPATIAL DATA IN THE PROBLEM OF AUTONOMOUS DETERMINATION OF COORDINATES BY A GROUND NAVIGATION SYSTEM

Сергей Борисович Беркович
доктор технических наук, профессор
начальник управления
навигационно-геодезических систем
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: naviserp5@iifmail.ru

Рамиль Равильевич Бикмаев
начальник отдела
управления навигационно-геодезических систем
МОУ «ИИФ»

Николай Иванович Котов
кандидат технических наук, профессор
заместитель начальника управления
навигационно-геодезических систем
МОУ «ИИФ»

Алексей Викторович Шолохов
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
управления навигационно-геодезических систем
МОУ «ИИФ»

Александр Николаевич Шахов
старший офицер
Главное управление
научно-исследовательской деятельности и
технологического сопровождения
передовых технологий
(инновационных исследований)
Министерство обороны Российской Федерации
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: naviserp5@iifmail.ru

Владимир Владимирович Устинов
адъюнкт
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: 8 (964) 563-22-69
E-mail: uvv_88@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена задача оценки среднеквадратичных погрешностей координат наземной навигационной системы, корректируемой эпизодически с использованием геопространственных данных. Данная модель включает: цифровую карту дороги, данные системы технического зрения и цифровую модель рельефа местности. Они обеспечивают информационную автономность решения задачи навигации наземного объекта. Рассмотрена модель погрешностей навигационной системы одометрического типа с бескарданным блоком выработки параметров ориентации объекта. Обоснованы основные соотношения для оптимального оценивания погрешностей навигационных параметров с помощью оптимального фильтра Калмана. Для значений исходных данных, близких к реальным, проведены расчеты оценок достижимой тончости определения координат наземного объекта в различных условиях.

Ключевые слова: наземная навигационная система; цифровая карта дороги; система технического зрения; цифровая модель рельефа; метод статистических испытаний; среднеквадратичная погрешность координат; оптимальный фильтра Калмана.

Summary

The problem of estimating the root-mean-square errors in the coordinates of a ground-based navigation system, which is sometimes corrected using geospatial data, is considered. This model includes: a digital road map, technical vision system data, and a digital terrain model. They provide information autonomy for solving the navigation problem of a terrain object. A model of errors in an odometric navigation system with a strapdown unit for measur-

ing object orientation parameters is considered. The basic relations for optimal estimation of errors of navigation parameters using the optimal Kalman filter are proved. Estimates of the achievable accuracy of determining the coordinates of a terrain object for various conditions are calculated for the values of the initial data that are close to real ones.

Keywords: ground navigation system; digital road map; technical vision system; digital elevation model; method of statistical testing; root-mean-square error of coordinates; optimal Kalman filter.

Введение

Необходимым условием решения задачи навигации подвижных наземных объектов сегодня все чаще выступает требование информационной автономности [1,2]. Оно исключает возможность использования внешней по отношению к объекту информации, в частности, спутниковых радионавигационных систем, характеризующихся недостаточной помехоустойчивостью. В основу автономного определения координат объектов положен принцип счисления пути [1,4,5]. Ограничения его применения вытекают из того, что погрешности навигационных параметров накапливаются с увеличением пройденного объектом пути и времени движения. Требуемая точность таких систем навигации на практике обеспечивается совершенствованием измерителей первичной навигационной информации [1,2], путем периодических остановок объекта [6], в том числе в зафиксированных на местности пунктах с точно известными координатами [4], комплексированием данных от источников различной физической природы и имеющих разные характеристики погрешностей.

Комплексирование данных предполагает создание информационной избыточности, состоящей в многозначности одного или сразу нескольких параметровв навигационной системе. Избыточность выступает в качестве объективной основы повышения качества решения задачи навигации за счет нахождения оценок погрешностей навигационных параметров с помощью так называемых фильтров, среди которых самими известными являются оптимальные фильтры калмановского типа (ОФК) [7].

Возможностей создания избыточности навигационной информации без ограничений на движение наземного объекта и с учетом требования автономности не так много. К доступным источникам дополнительной информации могут быть отнесены: цифровые карты дорог (ЦКД) [8], средства технического зрения (СТЗ) [4,9-12], цифровые модели рельефа (ЦМР) [13], гравитационного [14-17] и магнитного полей Земли [2] (аномальные составляющие), подземные карты местности [18]. Причем в отношении наземных объектов последние могут рассматриваться сегодня в качестве далекой перспективы, учитывая уровни точности измерителей и покрытие соответствующими моделями (или картами) предполагаемых районов дислокации объектов. В работе предпринята попытка количественной оценки потенциальной точности автономного определения координат наземной навигационной системы (ННС)при различных вариантах использования геопространственных данных в составе ЦКД, СТЗ и ЦМР.

Постановка задачи

Предположим, что погрешности ННС описываются в общем виде системой линеаризованных дифференциальных уравнений [1, 7,19]:

$$\Delta\dot{Z} = A\Delta Z + Bw, \qquad (1)$$

где $\Delta Z^T = [\Delta x\ \Delta y\ \Delta h\quad \Delta\alpha\ \Delta\beta\ \Delta\gamma\quad \omega_1\ \omega_2\ \omega_3\quad \Delta V]$ – вектор состояния, включающий следующие погрешности: горизонтальных плоских прямоугольных координат Δx, Δy и высоты Δh, углов ориентации $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ по трем взаимно ортогональным осям приборной системы координат (СК); трех датчиков угловой скорости (ДУС) ω_1, ω_2, ω_3 и одометрического датчика ΔV;

w – вектор входных воздействий («белых» шумов);

A и B – матрицы состояния и входных воздействий, соответственно.

Векторы и матрицы в уравнении (1) конкретизируются нижеприменительно к ННС одометрического типа [4, 19] с бесплатформенным блоком выработки параметров ориентации объекта.

Избыточность навигационной информации обеспечивается привлечением геопространственных данных ЦКД, СТЗ и ЦМР. Последовательно охарактеризуем их вкратце.

Математическое описание ЦКД использует векторный способ задания положения осевых линий автомобильных дорог, нашедший наиболее широкое применение в существующих геоинформационных системах (ГИС). Согласно ему дорога с заданной точностью аппроксимируется прямолинейными отрезками. Координаты концов отрезков позволяют задать положение дороги в СК ГИС и, наряду с принятым правилом аппроксимации, обеспечивают заданную точность.Произвольный отрезок ЦКД может рассматриваться в качестве корректора для ННС только при условии, что объект физически на-

ходится на нем. Исходя из этого, модель отрезка ЦКД наиболее просто представляется в форме канонического уравнения прямой, проходящей через точки – концы отрезка:

$$x^{И} \cdot \sin\alpha_K + y^{И} \cdot \cos\alpha_K + C/L + \Delta_K = 0, \quad (2)$$

где $x^{И}$,$y^{И}$ – координаты объекта;
α_K – дирекционный угол направления с начальной точки отрезка на конечную;
L – длина отрезка;
$C=Y_1X_1–X_1Y_2$ – расстояние от прямой, на которой лежит отрезок, до начала координат: X_1, Y_1 – координаты начальной и X_2, Y_2 – конечной точек;
Δ_K– погрешность ЦКД на рассматриваемом отрезке, вызванная погрешностями координат его концов.

Модель идеального функционирования СТЗ, как источника навигационной информации, предполагает следующее. Заблаговременно сформирован набор ориентиров, причем информация о каждом ориентире включает координаты, определенные с известной точностью, и данные для распознавания ориентира с помощью СТЗ. Используя текущие координаты, выработанные ННС в текущем такте работы, и координаты ориентиров, СТЗ распознает конкретный ориентир, определяет расстояние до него от объекта и углы направления на ориентир в приборной СК. Решением обратной геодезической задачи находятся предполагаемые координаты наземного объекта относительно конкретного ориентира. Таким образом, навигационной информацией, получаемой от СТЗ, будем полагать предполагаемые координаты объекта x_3, y_3. Погрешности Δx_3, Δy_3 предполагаемых координат объекта будем считать распределенным по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и известной матрицей ковариации. В ней дисперсии погрешностей (или среднеквадратичные погрешности (СКП)) могут быть найдены по дисперсиям погрешностей координат ориентира, расстояния до ориентира и угла направления на ориентир относительно продоль-

Погрешность		1	2	3	4	5	6	7	8		
		Δx	Δy	Δh	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$	ΔV	ω_1	ω_2	ω_3
1	Δx	0	0	0	$-V\sin\alpha\cos\theta$	$V\sin 2\alpha\sin\theta$	$-V\cos^2\alpha\sin\theta$	$\cos\alpha\cos\theta$	0	0	0
2	Δy	0	0	0	$V\cos\alpha\cos\theta$	$V\sin^2\alpha\sin\theta$	$V\sin 2\alpha\sin\theta$	$\sin\alpha\cos\theta$	0	0	0
3	Δh	0	0	0	0	$V\cos\alpha\cos\theta$	$-V\sin\alpha\cos\theta$	$\sin\theta$	0	0	0
4	$\Delta\alpha$	$\frac{\Omega\cos\varphi}{R}+\frac{V\sin\alpha}{R^2\cos^2\varphi}$	0	0	0	$\Omega\cos\varphi+\frac{V\sin\alpha}{R}$	$\frac{V\cos\alpha}{R}$	$\frac{\sin\alpha\tan\varphi}{R}$	0	0	1
5	$\Delta\beta$	0	0	0	$-\Omega\cos\varphi-\frac{V\sin\alpha}{R}$	0	$\Omega\sin\varphi+\frac{V\sin\alpha\tan\varphi}{R}$	$\frac{-\cos\alpha}{R}$	0	1	0
6	$\Delta\gamma$	$\frac{-\Omega\sin\varphi}{R}$	0	0	$\frac{-V\cos\alpha}{R}$	$-\Omega\sin\varphi-\frac{V\sin\alpha\tan\varphi}{R}$	0	$\frac{\sin\alpha}{R}$	1	0	0
7	ΔV	0	0	0	0	0	0	$-1/T_V$	0	0	0
	ω_1	0	0	0	0	0	0	0	$-1/T_\omega$	0	0
8	ω_2	0	0	0	0	0	0	0	0	$-1/T_\omega$	0
	ω_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-1/T_\omega$

а)

Погреш-ность		Белый шум			
		w_V	w_1	w_2	w_3
1	Δx	0	0	0	0
2	Δy	0	0	0	0
3	Δh	0	0	0	0
4	$\Delta\alpha$	0	0	0	0
5	$\Delta\beta$	0	0	0	0
6	$\Delta\gamma$	0	0	0	0
7	ΔV	$\sigma_V\sqrt{2/T_V}$	0	0	0
	ω_1	0	$\sigma_\omega\sqrt{2/T_\omega}$	0	0
8	ω_2	0	0	$\sigma_\omega\sqrt{2/T_\omega}$	0
	ω_3	0	0	0	$\sigma_\omega\sqrt{2/T_\omega}$

б)

Рис. 1. Матрица состояния (а) и матрица входных воздействий (б) модели погрешностей ННС

ной оси объекта. Ковариацию погрешностей Δx_3, Δy_3, предположим равной нулю, полагая равновероятными дирекционные углы направлений с объекта на ориентиры.

Модель рельефа, как источника навигационной информации, представляет собой регулярную сетку в СК ЦМР.В узлах сетки заданы значения высот точек земной поверхности. Определено также правило f_h вычисления значений высот h в произвольно заданных своими координатами x, y точках (не совпадающих с узлами сетки):

$$h=f_n(x,y). \qquad (3)$$

Погрешности высот в модели рельефа будем полагать для простоты нормально распределенными, центрированными, с известной дисперсией.

Общей особенностью привлекаемых источников информации ЦКД, СТЗ и ЦМР является то, что их данные позволяют эффективно оценивать погрешности ННС не непрерывно (в каждом такте работы системы счисления), а эпизодически: при прохождении наземным объектом распознаваемого СТЗ ориентира, при изменении направления дороги относительно сторон света или угла продольного наклона объекта [20]. Для математического описания этой особенности введем и используем в последующем параметр: «Средняя протяженность участка коррекции ННС». Здесь можно провести аналогию с простейшим потоком событий, заключающихся в коррекции ННС по эпизодически доступным данным ЦКД, СТЗ или ЦМР. Средняя протяженность участка коррекции ННС является величиной, обратной интенсивности потока событий.

Задача состоит в нахождении оценок СКП координат местоположения объекта, вырабатываемых ННС с учетом дополнительных геопространственныхданных ЦКД, СТЗ и ЦМР.

Модель интегрированной ННС

Конкретизируем модель погрешностей ННС (1), считая, что погрешности ДУС $\omega_1 \ldots \omega_3$ и одометрического датчика ΔV могут быть с достаточной точностью описаны в виде экспоненциально-коррелированного случайного процесса [19]. Матрицы состояния A и входных воздействий B в (1) для этого случая наглядно представлены на *рисунке 1*.

В автономном режиме работы ННС (без коррекции по данным ЦКД, СТЗ и ЦМР) СКП местоположения координат объекта могут быть рассчитаны по рекуррентной формуле:

$$P_{k+1} = F_k P_k F_k^T + Q. \qquad (4)$$

где P_k – матрица ковариации вектора погрешностей ΔZ в k-й момент времени;

$F_k = E + A_k \Delta t$ – дискретная матрица состояния;

A_k – матрица состояния в k-й момент времени;

E – единичная матрица соответствующей размерности;

Δt – период дискретности;

Q – постоянная дискретная матрица входных воздействий, соответствующая матрице B на *рисунке 1б*.

В моменты времени, когда доступны данные ЦКД, СТЗ и ЦМР, могут быть найдены оптимальные оценки погрешностей навигационных параметров вектора ΔZ. Будем считать, что задача нахождения оценок решается с помощью ОФК [7], и запишем необходимые при этом соотношения.

Для случая использования данных ЦКД выразим истинные координаты $x^И$, $y^И$ наземного объекта через выработанные ННС приборные координаты $x^П$, $y^П$ и погрешности Δx, Δy, после чего подставим $x^И$, $y^И$ в уравнение (2):

$$r_K = x^П \cdot \sin\alpha_K + y^П \cdot \cos\alpha_K + C/L = \Delta x \cdot \sin\alpha_K + \Delta y \cdot \cos\alpha_K - \Delta_K, \qquad (5)$$

которое в векторно-матричной форме с учетом вектора состояния в (1):

$$r_K = x^П \cdot \sin\alpha_K + y^П \cdot \cos\alpha_K + \frac{C}{L} = H_K \cdot \Delta z, \qquad (6)$$

где $H_K = [\sin\alpha_K \quad \cos\alpha_K \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -1]$ – матрица наблюдения в ОФК.

Таким образом, располагая косвенным измерением r_K, формируемым по координатам ННС в момент доступности данных ЦКД, и параметрам отрезка ЦКД, можно оценить соответствующие погрешности ННС и уточнить координаты объекта.

Для случая использования данных СТЗ свяжем истинные координаты $x^И$, $y^И$ объекта с приборными координатами $x^П$, $y^П$ и погрешностями координат Δx, Δy ННСс одной стороны, и истинные координаты с координатами x^C, y^C и их погрешностями Δx_C, Δy_C СТЗ – с другой стороны. Вычитание равенств для соответствующих координат дает:

$$x^П - x^C = \Delta x - \Delta x_C, \quad y^П - y^C = \Delta y - \Delta y_C. \qquad (7)$$

Эти же уравнения в векторно-матричной форме для вектора состояния, полученного расширением вектора ΔZ в (1) путем включения в него погрешностей Δx_C, Δy_C СТЗ, имеют вид:

$$r_C = \begin{bmatrix} x^П - x^C \\ y^П - y^C \end{bmatrix} = H_C \cdot \Delta z, \qquad (8)$$

где матрица наблюдения

$$H_C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, располагая разностными измерениями r_C координат ННС и СТЗ, можно оценить погрешности этих систем с помощью ОФК и получить уточненные координаты наземного объекта. Нетрудно видеть возможность одновременного использования данных ЦКД и

СТЗ для нахождения оптимальных оценок погрешностей навигационных параметров с помощью ОФК. В этом случае необходимо объединить уравнения наблюдения (5) и (8) в систему (предварительно уточнив вектор ΔZ).

В случае использования данных ЦМР будем полагать для простоты, что погрешности координат ННС, накопленные к моменту начала коррекции с привлечением данных ЦМР, существенно меньше радиуса корреляции, характеризующего пространственную изменчивость рельефа. Предположим, что ННС вырабатывает «приборное» значение высоты $h^{П}$ в некотором такте работы с погрешностью Δh (*рисунок 1а*) $h^{П}=h^{И}+\Delta h$, где $h^{П}$ – «истинная» высота объекта в приборной СК (над уровнем моря).

По «приборным» координатам $x^{П}$, $y^{П}$ ННС с помощью модели рельефа (3) вычисляется значение высоты объекта «по карте» $h^{К}=f_h(x^{П},y^{П})$. В нем выделим две составляющие погрешности:

- погрешность самой ЦМР $\Delta h^{К}$ с известной дисперсией $D_h^{К}$;
- погрешность, вызванную погрешностями Δx, Δy приборных координат системы счисления, которую запишем, используя операцию разложения функции в ряд Тейлора:

$$h^{К}=f_h\left(x^{П},y^{П}\right)=h^{И}+\Delta x\left.\frac{df_h(x,y)}{dx}\right|_{x^{П},y^{П}}+\Delta y\left.\frac{df_h(x,y)}{dy}\right|_{x^{П},y^{П}}+\Delta h^{К}. \quad (9)$$

Вычитанием соответствующих частей равенств для $h^{П}$ и (9) получим уравнение связи погрешностей системы счисления, погрешности ЦМР с разностным измерением высоты:

$$h^{К}-h^{П}=f_h\left(x^{П},y^{П}\right)-h^{П}\approx\Delta x\left.\frac{df_h(x,y)}{dx}\right|_{x^{П},y^{П}}+\Delta y\left.\frac{df_h(x,y)}{dy}\right|_{x^{П},y^{П}}-\Delta h+\Delta h^{К} \quad (10)$$

Видно, что для коррекции ННСпо ЦМР необходимо располагать частными производными

$$\left.\frac{df_h(x,y)}{dx}\right|_{x^{П},y^{П}}=\frac{dh}{dx}$$

и

$$\left.\frac{df_h(x,y)}{dy}\right|_{x^{П},y^{П}}=\frac{dh}{dy}$$

в точке с текущими приборными координатами $x^{П}$, $y^{П}$. При нахождении этих частных производных исходим из того, что наземная траектория объекта в трехмерном пространстве (две плоские прямоугольные координаты x, y и высота над уровнем моря h, *рисунок 2*) может быть представлена в параметрической форме с независимым параметром пройденного пути s. Тогда искомые частные производные даются формулами в общем виде:

$$\frac{dh}{dx}=\frac{dh(s)}{ds}\Big/\frac{dx}{ds}=\frac{dh(s)}{ds}\frac{ds}{dx},\quad \frac{dh}{dy}=\frac{dh(s)}{ds}\Big/\frac{dy}{ds}=\frac{dh(s)}{ds}\frac{ds}{dy} \quad (11)$$

Конкретизируем полученные частные производные правых частей выражений, используя геометрический смысл производной функции. Из *рисунка 2* видно, что производные могут быть выражены через дирекционный угол α продольной оси объекта в точке наземной траектории и угол θ продольного наклона:

$$\frac{dh}{ds}=tg(\theta),\quad \frac{ds}{dx}=\cos(\alpha),\quad \frac{ds}{dy}=\sin(\alpha)$$

С учетом этого частные производные (11) конкретизированы:

$$\frac{df_h(x,y)}{dx}=\frac{dh}{dx}=tg(\theta)\cos(\alpha),\quad \frac{df_h(x,y)}{dy}=\frac{dh}{dy}=tg(\theta)\sin(\alpha). \quad (12)$$

Окончательно матрица в уравнении наблюдения ОФК для ННС, использующей данные ЦМР имеет вид:

$$H=\left[tg(\theta)\cos(\alpha)\quad tg(\theta)\sin(\alpha)\quad -1\quad \ldots\quad 0\right]. \quad (13)$$

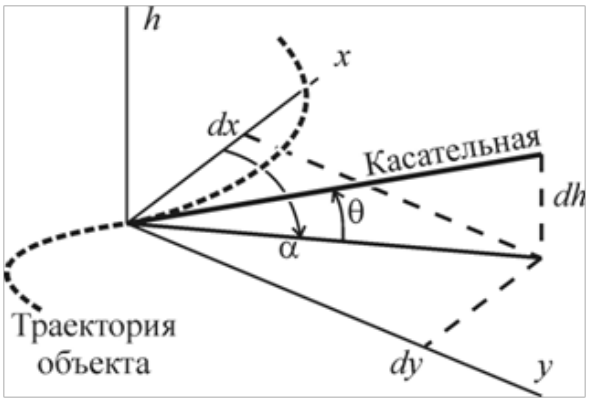


Рис. 2. К определению частных производных высоты по координатам

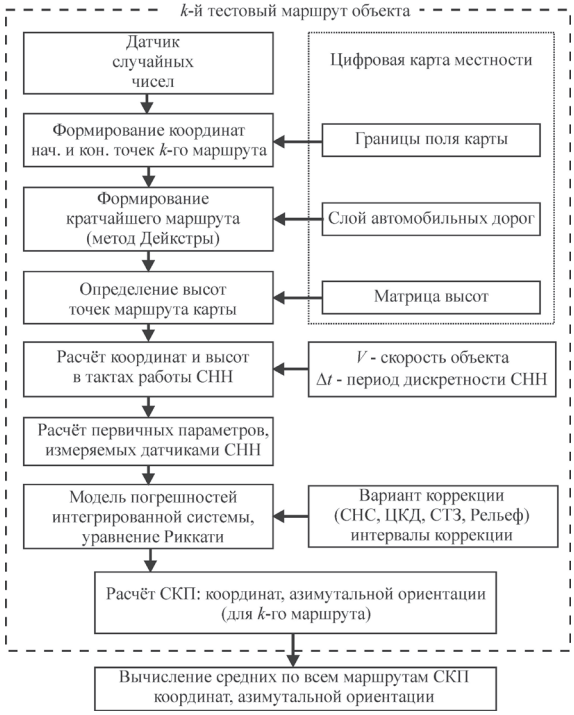


Рис. 3. Схема моделирования процесса функционирования ННС при оценке точности определения координат с использованием данных ЦКД, СТЗ и ЦМР

Методика оценки точности определения координат ННС

Оценивая точность ННС, используем показатель

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2},$$

где СКП координат

$$\sigma_x = P_k(1,1), \sigma_y = P_k(2,2)$$

рассчитываются согласно выражению (4) или по формулам ОФК в зависимости от доступности данных ЦКД, СТЗ или ЦМР. В основу расчета радиальной СКП σ положен метод статистических испытаний, основные этапы применения которого в данной задаче иллюстрирует *рисунок 3*. Рассеяние случайных чисел, скорость наземного объекта, период дискретности и другие параметры в моделировании соответствуют характеристикам точности датчиков реальных ННС, начальной настройки (или периодической коррекции), данных ЦКД, СТЗ и ЦМР (*рисунок 4*, тонкие линии серого цвета соответствуют радиальным СКП координат одного маршрута из общего их числа 100).

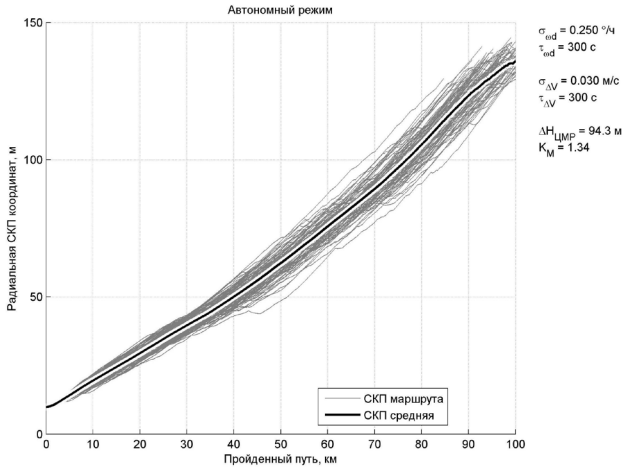


Рис. 4. Зависимость СКП координат от пройденного пути в автономной ННС

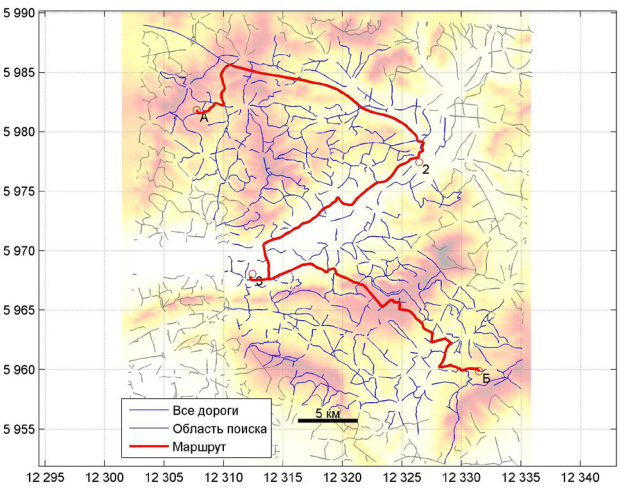


Рис. 5. Маршрут движения наземного объекта в плоской прямоугольной СК

Для формирования случайных маршрутов заданной протяженности, имеющих близкие к реальным формы и профили траекторий наземного объекта, использованы ГИС и реальные топографические картыместности масштаба М 1:100 000. Маршруты формировались по заданным начальной и конечной точкам на основе метода Дейкстры [21]. Пример такого маршрута приведен на *рисунке 5*, где также цветом показан рельеф местности.

Для наглядности и возможности сравнения результатов с известными техническими решениями на последующих рисунках дополнительно показаны показатели точности для координат, определяемых спутниковой навигационной системой с СКП 10 м.

Анализ точности автономного определения координат ННС при различных вариантах использования модели геопространственных данных

Обобщенные по результатам статистических испытаний СКП координат ННС представлены в виде рисунков. *Рисунок 6* иллюстрируют осредненные зависимости СКП координат объекта от пройденного пути в случае коррекции ННС по данным ЦКД, СТЗ и ЦМР. Темп поступления корректирующей информации соответствует исходным данным моделирования и является постоянным.

Графики на *рисунке 6* позволяют судить о нижних границах СКП (достижимой точности) координат для различных вариантов использования корректирующей информации. Использование рельефа местности (кривая 1) позволяет снизить в 1,5-2,5 раза темп возрастания погрешностей,

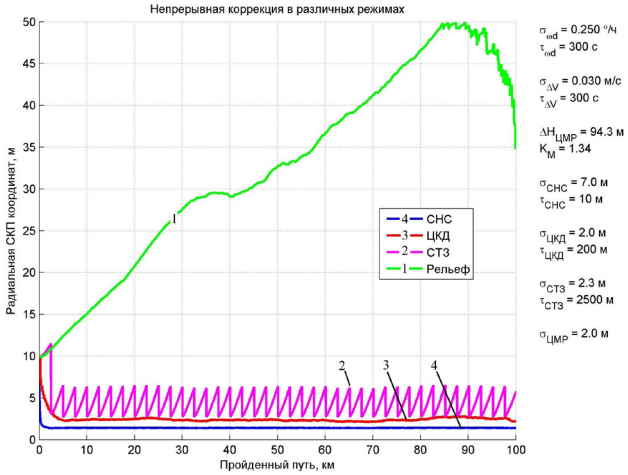


Рис. 6. Зависимость СКП координат от пройденного пути при использовании корректирующей информации ЦКД, СТЗ и ЦМР

при этом характер погрешностей (возрастание с увеличением пройденного пути и времени движения объекта) качественно не изменяется. Наиболее важными являются уровни СКП при использовании ЦКД и СТЗ. Пилообразный вид зависимости 2, соответствующей СТЗ, объясняется сравнительно редкой периодичностью (1 раз в 2 км, в среднем) использования внешних ориентиров для коррекции координат. В целом уровни СКП несколько выше соответствующих уровней погрешностей СНС (кривая 4, приведена для сравнения), поскольку интервалы между моментами коррекции по объективным причинам больше на 2-3 порядка. В уровнях СКП значимыми факторами оказались уровни погрешностей навигационных датчиков. Достижимые уровни СКП координат составляют единицы метров.

В реальных условиях функционирования наземного объекта возможно пропадание информации внешних корректоров в любое время (например, при движении объекта по пересеченной местности или не записанной в ЦКД автомобильной дороге, невозможности идентификации ориентиров СТЗ и т.п.). Поэтому актуальным является исследование динамики погрешностей ННС в случае пропадания или эпизодичной доступности информации внешних корректоров. На *рисунке 7* приведены осредненные зависимости СКП координат объекта от пройденного пути в случае пропадания информации внешних корректоров (СНС, ЦКД, СТЗ и рельефа местности). Моменты пропадания соответствуют значениям пройденного пути 25, 50 и 75 км, а также автономной работе – 0 км. Из рисунков видно, что с моментов пропадания информации внешних корректоров возобновляется рост СКП координат. При этом темп возрастания погрешностей не возрастает вследствие того, что в результате коррекции уточняются все составляющие вектора погрешностей ННС.

Данные зависимости позволяют оценить важный на практике параметр, который назовем «запас хода объекта по точности». Для координат он определяется от момента пропадания данных корректора (25, 50 или 75 км) до соответствующего момента выхода СКП за допустимый уровень.

Точность определения координат ННС при эпизодической доступности информации ЦКД, СТЗ и ЦМР иллюстрирует *рисунок 8*. Расположение изолиний на этом рисунке показывает, что СКП увеличиваются с возрастанием протяженности участков автономной работы (без данных ЦКД, СТЗ или ЦМР) и уменьшением протяженности участков коррекции. По форме изолинии близки к прямым (ломаные могут быть объяснены случайной изменчивостью результатов). Это позволяет установить приближенные соотношения между протяженностями участков коррекции и автономной работы ННС, при выполнении которых СКП не возрастают (например, СКП координат 12 м обеспечивается, если после 10 км движения по бездорожью объект будет двигаться 3 км по дороге, записанной в ЦКД). Аналогичные соотношения могут быть построены и для других уровней СКП координат, случаев использования данных от СТЗ и ЦМР.

Заключение

Показаны пути повышения точности автономного решения задач навигации наземных объектов на основе использования геопростран-

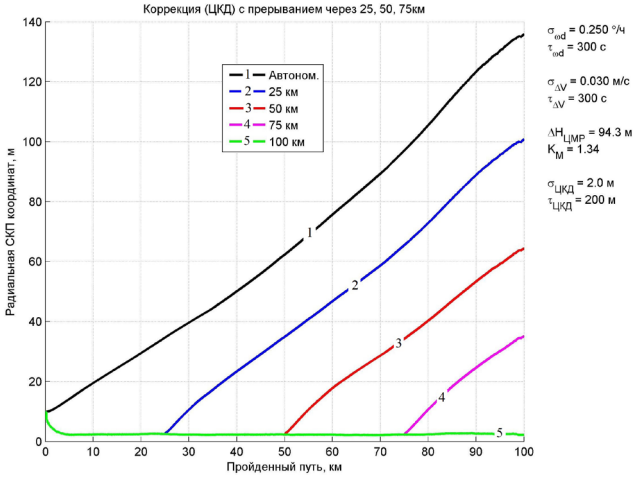


Рис. 7. Зависимость СКП координат от пройденного пути в ИКЦКМ для ВВТ ВТУ и ВКС при пропадании корректирующей информации ЦКД

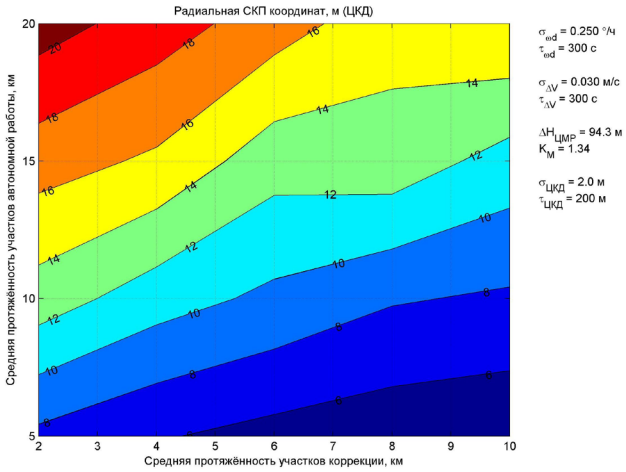


Рис. 8. Зависимость СКП координат от средней протяженности участков коррекции по ЦКД и автономной работы

ственных данных о положении автомобильных дорог, данных систем технического зрения и рельефа местности. На основании проведенных расчетов подтверждена возможность достижения СКП координат наземных объектов на уровне единиц метров при использовании данных ЦКД и СТЗ. Использование данных о рельефе местности позволяет снизить в 2-3 раза темп возрастания погрешностей координат ННС.

Литература

1. 4-я Всероссийская научно-техническая конференция по перспективам развития систем ориентирования и управления движением наземных подвижных объектов «Навигация-2019», 27-29 ноября 2019, г.Суздаль. Ковров: АО «ВНИИ «Сигнал», 2019.
2. XXVII С.-Петербургская межд. конф. по интегрированным навиг. системам, 25-27 мая 2020. СПб: ГНЦ РФ–ОАО «Концерн «Электроприбор», 2020.
3. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Автономные системы. М.: Наука, 1966. 579 с.
4. Котов Н.И. Физико-теоретические основы навигации: Тексты лекций. Серпухов: МО РФ, 2007.
5. Основы построения бесплатформенных инерциальных систем / В.В. Матвеев, В.Я. Распопов / Под общ. ред д.т.н. В.Я. Распопова. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 280 с.
6. Zupt Inertial Survey Technology [сайт]: https://www.zupt.com/navigation-software
7. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч.1. Введение в теорию оценивания. СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 496 с.
8. Шолохов А.В., Садеков Р.Н. Зависимость точности координат автомобильной навигационной системы от допусков // Измерительная техника, 2014. №6. С.21-24.
9. Беркович С.Б. Система технического зрения как источник дополнительной информации в задаче автомобильной навигации / С.Б. Беркович, Н.И. Котов, А.В. Лычагов, Н.В. Панокин, Р.Н. Садеков, А.В. Шолохов // Гироскопия и навигация, 2017. Т.25. №1(96). С.49-63.
10. Manderson T., Wapnick S., Meger D., Dudek G. Learning to Drive Off Road on Smooth Terrain in Unstructured Environments Using an On-Board Camera and Sparse Aerial Images // Computer Vision and Pattern Recognition. arXiv:2004.04697, 2020.
11. Qu X., Soheilian B., Paparoditis N. Vehicle localization using mono-camera and geo-referenced traffic signs//IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Baden-Baden. 2015. С. 605-610.
12. Шолохов А.В. Использование информации визуальных систем и цифровых карт дорог для повышения точности позиционирования наземных подвижных объектов / Котов Н.И., Садеков Р.Н., Шолохов А.В. и др. // XXIII СПб. межд. конф. по интегрированным навиг. системам, 30 мая-1 июня 2016. СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «Электроприбор», 2016. С.430-437.
13. Белоглазов И.Н. Основы навигации по геофизическим полям / И.Н. Белоглазов, Г.И. Джанджгава, Г.П. Чигин. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 328 с.
14. Шолохов А.В. Точечная/локальная оценка информативности компонент аномального гравитационного поля Земли / А.В. Шолохов, С.Б. Беркович, Н.И. Котов // Тезисы докладов II Научно-технической конференции «Навигация по гравитационному и магнитному полям Земли. Новые технологии», Менделеево Московской обл. 29-31 октября 2019. Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2019. С.50-51.
15. Шолохов А.В. Подготовка навигационных гравитационных карт на основе первичных гравитационных измерений / Н.И. Котов, А.В. Шолохов, С.Е. Чернышев // Навигация по гравитационному полю Земли и ее метрологическое обеспечение. Доклады научно-технической конференции, 14-15 февраля 2017. Менделеево Московской обл. Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2017. С.71-90.
16. Фатеев В.Ф. Макет системы по геофизическим полям земли / В.Ф.Фатеев, Бобров Д.С., Гостев Ю.В., Рыбаков Е.А., Карапетян М.Н., Давлатов Р.А., Долгодуш А.О., Москвитин Ю.В. // Альманах современной метрологии, 2020. №4(24). С.173-184.
17. Степанов О.А. Алгоритм коррекции навигационной системы по данным карты и измерителя, не требующий предварительного оценивания значений поля вдоль пройденной траектории / О.А.Степанов, А.С. Носов // Гироскопия и навигация, 2020. Т.28. №2(109). С.70-90.
18. Lockheed Martin Gravity System [сайт]: https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/rms/documents/gravity-gradiometry/LM-Gravity-Systems-brochure.pdf
19. Шолохов А.В. Повышение точности наземных навигационных систем за счет оптимизации ориентации входных осей датчиков бескарданных модулей / С.Б. Беркович, Н.И. Котов, А.В. Шолохов // Электронные информационные системы, 2019. №4(23). С.59-70.
20. Шолохов А.В. Оценка точности обзорно-сравнительных систем навигации в условиях эпизодической доступности корректирующей информации / Н.И. Котов, А.В. Шолохов, Р.Н. Садеков // Материалы XXX конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова, 4-6 октября 2016. СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «Электроприбор», 2016. С. 272-280.
21. Программа для построения всевозможных кратчайших приборных маршрутов движения с использованием слоя дорог электронной карты. Свидетельство о государственной регистрации программы для ПЭВМ №2020615289, РФ / Шолохов А.В., Кушнерчук В.В, Карпов К.В. №2020613987; заявл. 03.04.2020; опубл. 20.05.2020.

УДК 629.764

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАЗРАБОТКИ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «СОЮЗ-5»

ANALYSIS OF THE STATE OF DEVELOPMENT AND PROSPECTS FOR THE USE OF THE «SOYUZ-5» LAUNCH VEHICLE

Станислав Феликсович Стельмах
кандидат военных наук
старший научный сотрудник
ВКА имени А.Ф. Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13
Тел.: 8 (812) 237-12-49
E-mail: ssf-1964@mail.ru

Григорий Борисович Басов
кандидат технических наук, доцент
советник генерального директора
по специальным проектам
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: bgb@iifmail.ru

Аннотация
Рассмотрены характеристики современных отечественных ракет-носителей различных классов, такие как масса выводимого полезного груза и удельная стоимость его выведения на различные орбиты. Произведен расчет удельной стоимости выведения полезного груза отечественными ракетами-носителями на различные виды орбит. Показана актуальность создания ракеты-носителя среднего класса, способной вывести на низкую околоземную орбиту полезный груз массой от 8 до 17 тонн.
Ключевые слова: ракета-носитель, масса полезного груза, удельная стоимость выведения полезного груза, орбита, космодром.

Summary
The characteristics of modern domestic launch vehicles from various classes are considered, such as the mass of launched payloads and the unit cost of their launch into various orbits. The relevance of creating a medium-class launch vehicle (which is capable of injecting a payload weighing from 8 to 17 tons into low-earth orbit) is shown.
Keywords: launch vehicle, payload mass, unit cost of launching a payload, orbit, cosmodrome.

Ракета-носитель (РН) – часть ракеты космического назначения, предназначенная для выведения орбитального модуля или полезного груза (ПГ) на заданную траекторию или орбиту [1].

Класс РН является совокупным параметром, определяющим ее мощность (грузоподъемность). В зависимости от грузоподъемности все существующие и проектируемые РН подразделяются на четыре класса: легкие, средние, тяжелые и сверхтяжелые (уникальные) [2].

Количественные показатели классов отечественных РН приведены в *таблице 1*.

Основным показателем, определяющим принадлежность РН к тому или иному классу, является масса выводимого орбитального блока (ОБ) на низкую околоземную орбиту (НОО) [2].

Одним из важнейших показателей экономичности РН является удельная стоимость выведения ПГ на орбиты, которая варьируется в пределах от 3-5 тысяч долларов за кг для РН тяжелого

Таблица 1
Классификация ракет-носителей

Класс	Масса ПГ, т	Ракеты-носители
Легкий	до 5	«Рокот», «Союз-2.1в», «Ангара-1.2»
Средний	от 5 до 15	«Союз-2.1а(б)», «Союз-ФГ»
Тяжелый	от 15 до 35	«Протон-М», «Ангара-А5»
Сверхтяжелый	более 35	«Н1», «Энергия»

Таблица 2

Масса выводимого ПГ на различные орбиты и удельная стоимость его выведения отечественными РН

РН	Космодром	Наклонение орбит, град	Стоимость запуска РН, млн. долл	Максимальная масса выводимого ПГ, т				Удельная стоимость выведения ПГ, долл / кг			
				НОО	ССО	ГПО	ГСО	НОО	ССО	ГПО	ГСО
Легкий класс											
Рокот	Плесецк	62,4-98	45	1,95	-	-	-	23077	-	-	-
Союз-2.1в	Плесецк Восточный	62,4-98 51-97	38	2,8-3,3	1,2-1,4	-	-	11515-14615	27143-31667	-	-
Ангара-1.2	Плесецк	62,4-98	55	3	-	1,99	-	18333	-	27638	-
Средний класс											
Союз-ФГ	Байконур	51-99	48	6,79-7,13	4,0-4,6	1,5	-	6732-7069	10435-12000	32000	-
Союз-2.1а	Байконур Плесецк Восточный	51-99 62,4-98 51-97	48	6,6-7,4	4,3-4,6	1,5	-	6486-7273	10435-11163	32000	-
Союз-2.1б	Байконур Плесецк Восточный	51-99 62,4-98 51-97	48	6,9-8,7	4,6-5,0	1,8-2,0	-	5517-6957	9600-10435	24000-26666	-
Тяжелый класс											
Протон-М	Байконур	51-99	65	22,4	-	6,3	3,3	2902	-	10317	19697
Ангара-А5	Плесецк Восточный	62,4-98 51-97	120	24-24,5	-	5,4-8,0	2,8-5,0	4898-5000	-	15000-22222	24000-42857

класса и до 20-40 тысяч долларов за кг для легких РН. В *таблице 2* представлены масса выводимого ПГ на различные орбиты и результаты расчета удельной стоимости его выведения отечественными РН.

В *таблице 2* использованы сокращения: ССО – солнечно-синхронная орбита, ГПО – геопереходная орбита, ГСО – геостационарная орбита.

Максимальная масса выводимого ПГ отечественными РН на различные виды орбит представлена на диаграмме (*рисунок 1*).

Анализ данных, представленных в *таблице 1*, а также на диаграмме (*рисунок 1*), показывает, что в настоящее время имеет место определенный «разрыв» в линейке отечественных РН между средним и тяжелым классом по указанным показателям. Так, максимальная масса полезной нагрузки, выводимой РН среднего класса «Союз-2.1б» с космодрома Байконур на НОО составляет 8,7 т. Следующей ракетой космического назначения по указанному критерию в данной линейке является РН тяжелого класса «Протон-М», способная вывести на НОО ПГ массой 22,4 т. Соответственно, разница в максимальной массе ПГ, выводимого данными РН на НОО составляет почти 14 т.

При рассмотрении следующего параметра РН – удельная стоимость выведения на орбиту ПГ (*ри-*

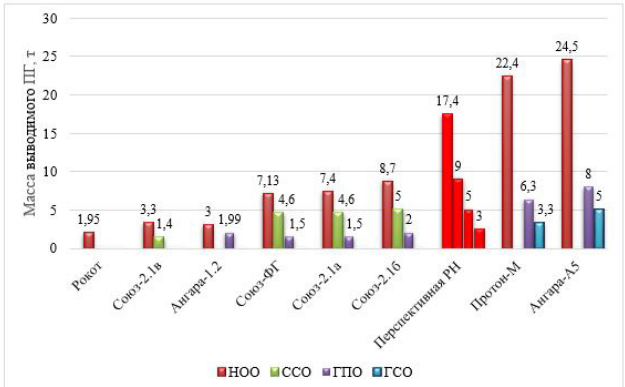


Рис. 1. Максимальная масса выводимого ПГ отечественными РН на различные виды орбит

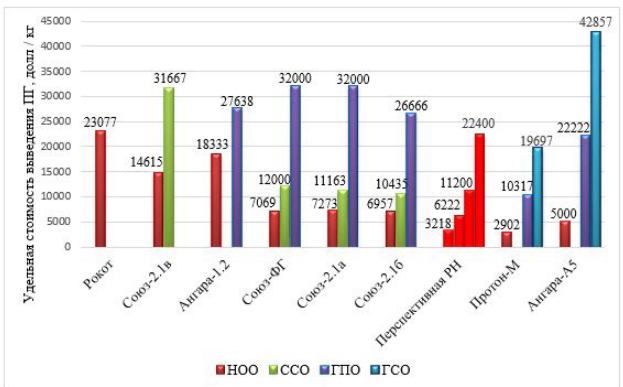


Рис. 2. Максимальная удельная стоимость выведения ПГ отечественными РН на различные виды орбит

сунок 2) – складывается аналогичная ситуация.

Анализ данных, представленных в *таблице 1* и на диаграмме (*рисунок 2*) показывает, что разница между удельной стоимостью выведения одного кг ПГ с космодрома Байконур на ГПО РН среднего класса «Союз-2.1б» и РН тяжелого класса «Протон-М» составляет более 16 тысяч долларов за кг.

Создание РН среднего класса, способной выводить ПГ на НОО в диапазоне от 8 до 17 т с минимальной удельной стоимостью, представляется актуальной задачей. Одним из способов решения указанной задачи является реализация проекта РН «Союз-5».

«Союз-5» – перспективная двухступенчатая РН среднего класса, которая будет способна вывести на НОО не менее 17 т полезного груза (рисунок *3*) [3,4].

Данная РН разрабатывается ракетно-космической корпорацией «Энергия« имени С.П. Королёва. Реализация данного проекта предусмотрена действующей Федеральной космической программой в рамках опытно-конструкторской работы «Феникс«. Стоимость одного запуска РН «Союз-5» оценивается в 55-56 млн долл [5].

Начало лётных испытаний данной РН запланировано на 2022 год, а переход в стадию коммерческой эксплуатации на 2025 год. Планируется, что эксплуатацией данной РН займется российская компания International Launch Services. Стартовый комплекс ракеты планируется создать на базе российско-казахстанского ракетно-космического комплекса «Байтерек», использовавшегося ранее для запусков РН «Зенит-М» на космодроме «Байконур» [5,6,7,8].

Рис. 3. Облик перспективной РН «Союз-5»

Далее – об истории возникновения и развития проекта РН «Союз-5». В феврале 2015 года РКЦ «Прогресс» предложил включить проект создания новой РН «Союз-5» в федеральную космическую программу на период 2016-2025 годов.

В апреле 2015 года проекту ракеты присвоили шифр «Феникс», как и опытно-конструкторской работе по созданию отечественной замены собиравшейся на Украине ракеты «Зенит-М».

16 августа 2017 года был опубликован государственный контракт на составную часть опытно-конструкторской работы на тему «Разработка эскизного проекта на комплекс РН среднего класса для летно-конструкторской отработки ключевых элементов космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса». В рамках эскизного проектирования РКК «Энергия» должна была провести обоснование основных характеристик, технических и технологических решений по РН среднего класса с учетом использования наземной космической инфраструктуры, оставшейся от ракеты «Зенит-М» на космодроме «Байконур« [7].

Также было указано, что в эскизном проекте на новую ракету должна быть дана оценка возможности использования в ее составе существующих и перспективных головных обтекателей, в том числе головного обтекателя от РН «Ангара-А5«. Кроме того, отмечалась целесообразность перспективного применения ракеты «Союз-5» по программе «Морской старт« [5].

Планируется, что «Союз-5» должна стать самой экономичной российской ракетой.

Во-первых, при ее строительстве будут использовать современные технологии. В частности, предполагается, что определенное количество деталей будет произведено на 3D принтерах (аддитивные технологии).

Во-вторых, на 1-й ступени РН будут установлены самые совершенные на сегодняшний день двигатели – РД-171МВ, прообраз которых создавался еще для первой ступени ракеты сверхтяжелого класса «Энергия» [3]. Напомним, что двигатели семейства РД171/180/191 на сегодняшний день имеют самое высокое энергетическое совершенство. При тяге в 800 т показатель удельного импульса на уровне моря составляет 311секунд.

В-третьих, построение системы управления «Союза-5» с применением быстродействующей производительной бортовой вычислительной машины позволит минимизировать связи между ракетой и оборудованием технического и стартового комплексов. Это упростит процесс подготовки ракеты к пуску и удешевит наземное оборудование.

В-четвертых, материал, из которого впервые будут изготавливаться баки РН (алюминиевый сплав 1580) позволит значительно повысить технические характеристики ракеты.

В-пятых, впервые на второй ступени РН будет применяться объединенное днище баков горючего и окислителя, что позволит уменьшить габариты блока и снизить массу конструкции.

Необходимо отметить, что РН «Союз-5», как обещают в РКК «Энергия», будет дешевле ракеты «Falcon-9» Илона Маска даже при условии нынешнего снижения цен для коммерческих запусков и повышенных до 2-х раз тарифов на пусковые услуги для NASA и министерства обороны США.

Планируется, что масса ПГ, доставляемого на одинаковые геопереходные орбиты, у РН «Союз-5» будет на 10-15 процентов выше, чем у «Falcon 9» (в возвращаемом варианте первой ступени последнего).

В свою очередь Казахстан за счет собственных средств до конца 2021 г. должен модернизировать часть инфраструктуры космодрома «Байконур« под РН «Союз-5» в рамках проекта «Байтерек». Планируется, что Казахстан направит на эти цели 233 млн долларов [7].

Рассмотрим более подробно состояние и перспективы развития совместного российско-казахстанского проекта «Байтерек».

Космический ракетный комплекс «Байтерек» – это совместный проект Казахстана и России по созданию организационно-технической структуры для выведения космических аппаратов экологически чистыми РН взамен использующей токсичные компоненты топлива ракеты «Протон-М» с космодрома Байконур.

Изначально данная программа должна была быть реализована на основе РН «Ангара», но позже из-за увеличившейся в 7 раз стоимости, ее задержкой на несколько лет от запланированных сроков и принятия решения о пусках РН «Ангара» с космодрома «Восточный« указанный проект был переориентирован на использование РН «Зенит-М» украинского производства.

Однако, в связи с нестабильной политической ситуацией на Украине летом 2014 года проект был приостановлен и начались поиски вариантов его реализации на основе российских РН. После включения в 2015 году в Федеральную космическую программу Российской Федерации проекта по созданию новой РН среднего класса «Союз-5» Россия предложила Казахстану реализовать проект «Байтерек» с использованием этой ракеты. Комплекс «Байтерек» планируется создать на базе площадки № 45 (*рисунок 4*) [9,10], расположенной на космодроме Байконур, предназначавшейся ранее для запуска ракет семейства «Зенит».

Так в 2017 году проект «Байтерек» был переориентирован на РН «Союз-5» [3,5,7,8].

Необходимо отметить, что отличительной особенностью РН «Союз-5» станет возможность ее запуска с трех разных космодромов – Байконура, Восточного и «Морского старта» [3,10].

«Морской старт» ныне является законсервированной российской стартовой площадкой, базирующейся в Тихом океане неподалеку от порта Владивосток. Ожидается, что в недалеком будущем данный морской космодром будет модифицирован и подготовлен к коммерческим запускам. Поскольку изначально он создавался для запуска ракет семейства «Зенит», то РН «Союз-5» также будет с ним совместима. Планируется, что с «Морского старта» эта ракета будет выводить коммерческие телекоммуникационные спутники [9]. Комплекс «Морской старт» в составе передвижной стартовой платформы и сборочно-командного судна представлен на *рисунке 5* [11].

Рис. 4. Стартовая площадка № 45 на космодроме Байконур

Рис. 5. Комплекс «Морской старт»

Таблица 3

Основные тактико-технические характеристики РН «Союз-5»

Характеристики	Величины
Количество ступеней	2 + разгонный блок ДМ-SLБ
Длина РН с головной частью	61,87 м
Диаметр РН	4,1 м
Стартовая масса	530 т
Вид топлива	Керосин + Жидкий кислород
Первая ступень	
Длина	37,14 м
Диаметр	4,1 м
Сухая масса	30,5 т
Маршевый двигатель	РД-171 МВ
Топливо	398 т
Вторая ступень	
Длина	7,77 м
Диаметр	4,1 м
Сухая масса	6,5 т
Маршевый двигатель	РД-0124МС
Топливо	60 т
Масса ПГ	
Низкая околоземная орбита	17,4 т
Солнечно-синхронная орбита	9 т
Геопереходная орбита	5 т
Геостационарная орбита	2,5 т

Планируется, что при запусках с «Морского старта» с помощью РН «Союз-5» можно будет выводить на геостационарную орбиту спутники массой до 3,2 тонны. Зарубежные РН, такие как «Falcon-9», «Arian-62», «Vulcan», являющиеся аналогами «Союза-5», таких показателей не достигают. В *таблице 3* представлены основные тактико-технические характеристики РН «Союз-5».

Рис. 6. Макет двигателя РД-171МВ

Как уже отмечалось выше, РН «Союз-5» будет построен на базе ракеты «Зенит-М». В ее первой ступени будет установлен двигатель РД-171МВ, находящийся в настоящее время в разработке. Во второй ступени будет установлен двигатель РД-0124МС, использующийся в последней ступени РН «Союз-2.1б» [3]. Предполагается, что помимо ракеты «Союз-5» двигатель РД-171МВ может стать модулем первой ступени новой РН сверхтяжелого класса (РН СТК) [12].

В конце августа 2019 года макет РД-171МВ вместе с другими разработками НПО «Энергомаш» был представлен на выставке МАКС-2019 (*рисунок 6*) [12].

РД-171МВ на сегодняшний день является самым мощным из жидкостных реактивных двигателей в мире. Он оснащен четырьмя камерами сгорания и работает на паре кислород-керосин.

Как отмечают в компании «Энергомаш», при создании РД-171МВ используются технологические и конструктивные решения, отработанные при эксплуатации двигателей РД-180 и РД-191 [12,13].

Таким образом, анализ основных технических характеристик перспективной РН «Союз-5» позволяет сделать вывод о том, что в ближайшем будущем данная РН сможет дополнить и заменить существующие носители среднего класса, доставляющие полезную нагрузку на различные виды орбит.

Литература

1. Ракеты-носители: учебник / К.Б. Болдырев, В.А. Грибакин, А.Ю. Карчин, С.Ю. Пирогов, А.Э. Султанов. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2018. 385 с.
2. Основы устройства ракет космического назначения: учебное пособие / А.Ю. Карчин, К.Б. Болдырев, А.Э. Султанов, Е.А. Прокопенко. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2019. 180 с.
3. РКЦ Прогресс: официальный сайт. Самара, 2021. – URL: http://samspace.ru (дата обращения 10.02.21).
4. Роскосмос: официальный сайт. Москва, 2021. – URL: http://roscosmos.ru (дата обращения 10.02.21).
5. Ракета-носитель «Союз-5» будет запущена в 2022 году / Информационное агентство ТАСС: [сайт]. Москва, 2017 – URL: http://tass.ru/pmef-2017/articles/4299507 (дата обращения 10.02.21).
6. РКК Энергия: официальный сайт. г. Королёв Московской области, 2021 – URL: http://energia.ru (дата обращения 10.02.21).
7. Казахстан ратифицировал протокол к соглашению с Россией о комплексе «Байтерек» / Информационное агентство ТАСС: [сайт]. Москва, 2021 – URL: http://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/7767737 (дата обращения 10.02.21).
8. Медведев А.А. Инновационные подходы при создании ракетно-космической техники. Монография. 2-е изд. М.: Издательство «Доброе слово и Ко», 2020. 400 с.
9. Новости авиации: [сайт]. Москва, 2021. – URL: http://avia.pro (дата обращения 10.02.21).
10. ФГУП ЦЭНКИ: официальный сайт. Москва, 2021. – URL: http://russian.space (дата обращения 10.02.21).
11. Проект «Морской старт»: официальный сайт. Москва, 2021. – URL: http://s7space.ru (дата обращения 10.02.21).
12. Латышев А. «Самый мощный в мире»: какими характеристиками будет обладать новый российский ракетный двигатель РД-171МВ / А.Латышев, А.Медведева // Информационное агентство RT: [сайт]. Москва, 2021. – URL: http://russian.rt.com/russia/article/664311-kosmos-raketa-soyuz-dvigatel (дата обращения 10.02.21).
13. АО «НПО Энергомаш»: официальный сайт. г. Химки Московской области, 2021. – URL: http://engine.space (дата обращения 10.02.21).

УДК 621.592 + 661.91-404

АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ КРИОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЗАПРАВКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

ANALYSIS OF SCHEME SOLUTIONS OF THE COOLING PROCESS OF CRYOGENIC PRODUCTS DESIGNED FOR ROCKET

Алексей Александрович Коробков
кандидат технических наук, доцент
начальник научно-методического управления
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: korobkow@iifmail.ru

Анатолий Иванович Смородин
почетный работник науки и техники РФ
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры Э-4
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ)»
Адрес: 107005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5
Тел.: +7 (499) 263-61-27
E-mail: smorodin38@rambler.ru

Степан Сергеевич Сергеев
руководитель расчетной группы
ПАО «Криогенмаш»
Адрес: 143907, Московская обл.,
г. Балашиха, пр. Ленина, д. 67
Тел.: +7 (495) 505-93-33
E-mail: stepan.sergeev@omzglobal.com

Максим Васильевич Кулик
начальник отдела организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (903) 797-36-67
E-mail: mklik@mail.ru

Альфия Абдрякибовна Садекова
младший научный сотрудник НИО-1
ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА»
Адрес: 353456, Краснодарский край,
г. Анапа, Пионерский пр., д. 41
Тел.: +7 (916) 644-72-38
E-mail: tienkiss83@mail.ru

Аннотация
Представлены результаты анализа основных технических приемов и схемных решений процесса охлаждения криогенных жидкостей на примере сжиженного метана, предназначенного для заправки ракеты-носителя в качестве топлива. Приведены и описаны варианты технических приемов с представлением схем, показаны преимущества и недостатки каждого варианта, а также их комбинаций.
Ключевые слова: барботирование, вакуумирование, криогенный продукт, ракета-носитель, сжиженный метан, теплообменный аппарат.

Summary
The results of the analysis of the main technical methods and circuit solutions of the cooling process of cryogenic liquids are presented on the example of liquefied methane intended for refueling a launch vehicle as fuel. Variants of techniques with the presentation of schemes are given and described, the advantages and disadvantages of each option, as well as their combinations, are shown.
Keywords: bubbling, evacuation, cryogenic product, launch vehicle, liquefied methane, heat exchanger.

Введение

Увеличение габаритно-массовых характеристик (ГМХ) изделий ракетно-космической техники (РКТ) и частоты запусков ракет-носителей (РН) предполагает создание эффективных космических транспортных систем (КТС). Одним из способов повышения эффективности КТС является более рациональное использование объема заправочных баков за счет применения глубоко охлажденных криогенных компонентов топлива. Так, например, заправка жидким водородом, охлажденным на 5 К ниже нормальной температуры кипения, дает прибавку $\Delta m10\%$ от массы горючего m (*рисунок 1*) [1].

Перспективным направлением, по мнению, как отечественных [2], так и зарубежных [3] специалистов ракетно-космической отрасли, является использование в качестве одного из компонентов ракетного топлива первой ступени РН сжиженного метана (СМ). Для эффективного и

безопасного использования СМ необходимо решить ряд проблем [4-6], в т.ч. и проблему эффективного и надежного переохлаждения СМ для хранения и заправки РН [7,8].

В настоящее время известны три основных технических приема, с помощью которых можно осуществить эффективное охлаждение криогенных продуктов [9]:

- вакуумирование парового пространства сосудов для хранения жидкого криогенного топлива;
- барботирование объема криогенной жидкости охлажденным газом;
- использование внешних поглотителей тепла.

Ниже более подробно рассмотрен каждый из них.

1. Вакуумирование парового пространства сосудов для хранения жидкого криогенного топлива

Наибольшее распространение в криогенных системах промышленного масштаба способ метод охлаждения путем вакуумирования парового пространства над поверхностью криогенной жидкости.

Реализация данного способа может происходить посредством охлаждения криогенного продукта как в резервуаре (*рисунок 2а*), так и в теплообменнике-охладителе (ТОО), т.е. в процессе выдачи криогенного продукта потребителю (*рисунок 2б*) [9].

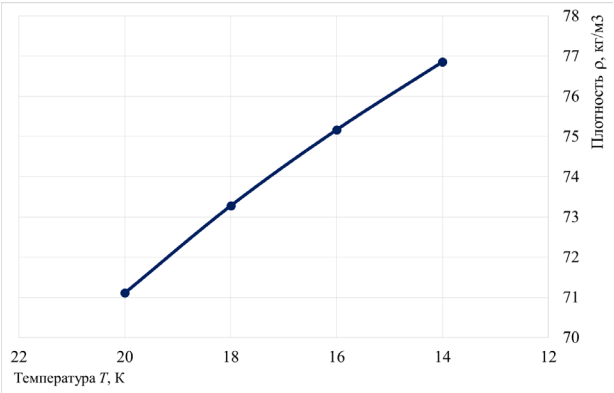


Рис. 1. Зависимость плотности жидкого водорода от температуры

В целях как повышения экономичности, так и увеличения эффективности процесса охлаждения обычно применяется ступенчатая схема охлаждения. При использовании этой схемы понижение температуры охлаждаемой жидкости при откачке паров осуществляется вследствие реализации термодинамических свойств двухфазной системы «пар-жидкость» [9]. Согласно правилу фаз (правилу Гиббса) [10], существует зависимость равновесной температуры охлаждаемой жидкости от давления насыщенных паров ($T=f(p_{нас.\ пар.})$). В условиях адиабатного равновесия, давление внутри замкнутого объема, при осуществлении откачки паров над поверхностью жидкости, снижается, а, следовательно, происходит испарение жидкости, сопровождаемое отбором теплоты от оставшейся охлаждаемой жидкости, что в итоге приводит к понижению ее температуры и установлению нового равновесного состояния, но уже при более низких температуре и давлении.

Таким образом, откачка молекул газа, появившегося в результате испарения поверхностного слоя жидкости, обеспечивает снижение температуры оставшейся части охлаждаемой жидкости.

Для откачки паров криогенной жидкости обычно применяют эжекторы. Результаты исследований [9] показывают, что для охлаждения, например, жидкого кислорода от $T_{нач.}$ = 90,2 К до $T_{кон.}$ = 70 К, в условиях адиабатного равновесия (pV=const), необходимо испарить до 15% кислорода, а для охлаждения жидкого гелия от $T_{нач.}$ = 4,2 К до $T_{кон.}$ = 1,6 К – уже 42%.

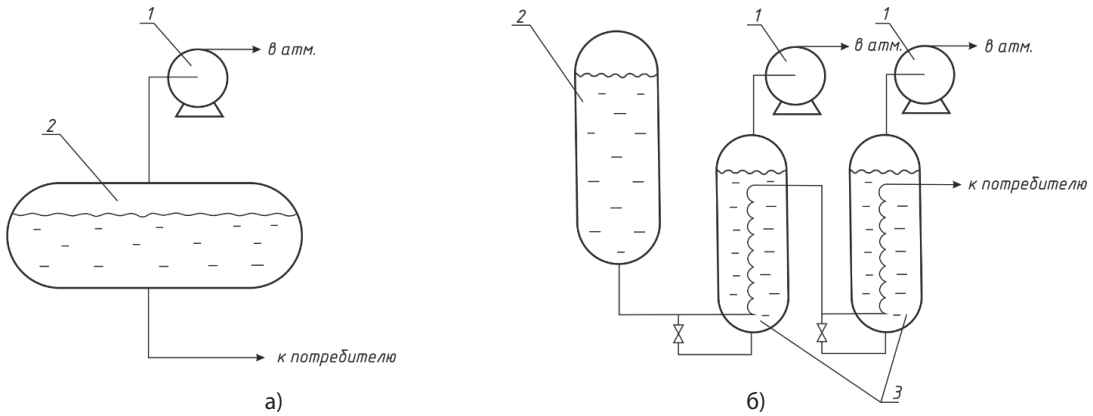


Рис. 2. Схемы охлаждения криогенных жидкостей вакуумированием:
а) в хранилище; б) в ТОО непосредственно в процессе выдачи продукта потребителю: 1 – вакуумный агрегат; 2 – резервуар; 3 – охладитель

Кроме того, на практике при осуществлении процесса охлаждения, происходят дополнительные потери, связанные как с существенной неравновесностью самого процесса, так и с наличием гидравлического сопротивления магистралей.

При организации процесса охлаждения во время хранения, наиболее практична схема резервуара со встроенным ТОО межтрубного испарения (*рисунок 3*).

Достоинства и недостатки рассмотренного способа охлаждения (в сравнении с другими способами) приведены ниже, в *таблице 1*.

2. Барботирование объема криогенной жидкости охлажденным газом

При барботировании охлаждение жидкости более холодным газом происходит, в основном, за счет испарения части криогенной жидкости внутрь газообразной барботирующей среды [9]. В качестве таковой применяют, обычно, гелий, малорастворимый в других жидкостях, остающийся в газообразном состоянии даже при довольно низких температурах. Гелий, в случае реализации разомкнутой схемы барботажного охлаждения, охлаждается предварительно до температуры близкой (tHe→$t_ж$) к температуре жидкости (*рисунок 4а*).

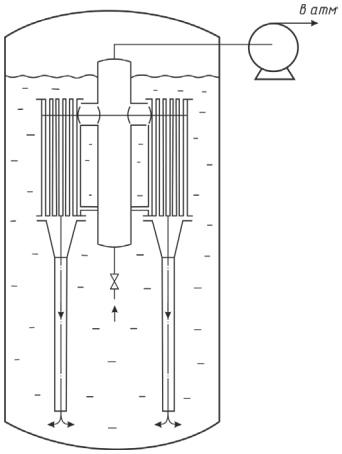
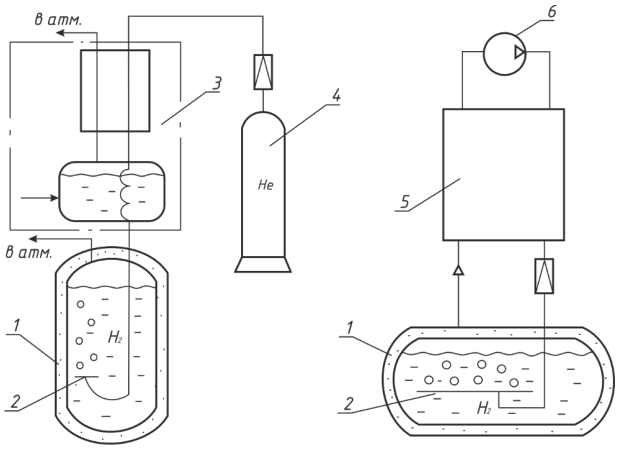


Рис. 3. Резервуар и встроенный ТОО с межтрубным испарением



а) б)

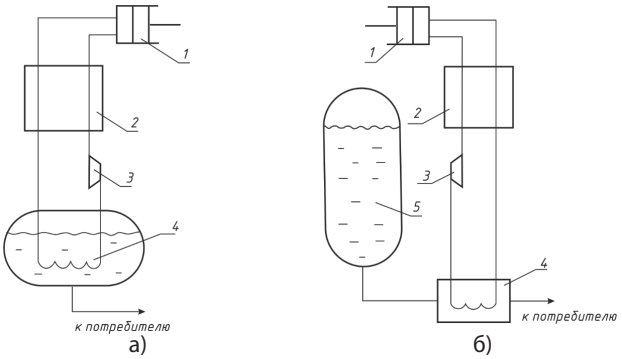
Рис. 4. Схемы барботажного охлаждения: а) разомкнутая схема; б) замкнутая схема: 1 – емкость с криогенным агентом; 2 – барботер; 3 – блок охлаждения гелия; 4 – емкость с газообразным гелием; 5 – гелиевая рефрижераторная установка; 6 – компрессор

Охлаждение, в случае реализации замкнутой схемы, производится с помощью рабочего газа, который, в свою очередь, охлаждается в гелиевой рефрижераторной установке, при этом, дросселирование, вследствие циркуляции гелия и паров жидкости в рефрижераторной установке, которая включает в свой состав компрессор и ряд теплообменных аппаратов (ТОА), обеспечивает холодопроизводительность смеси [9].

Достоинства и недостатки данного способа охлаждения приведены в *таблице 1*.

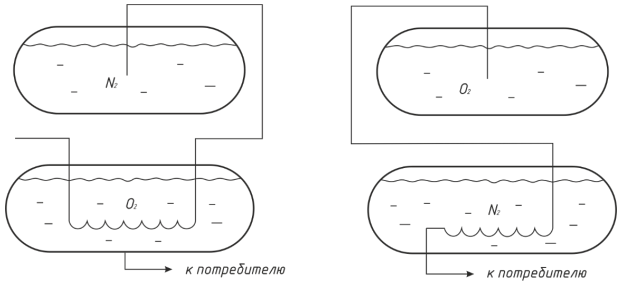
3. Использование внешних поглотителей тепла

Отличие данного способа охлаждения от вышеназванных заключается в том, что процесс теплообмена осуществляется в ТОА, с циркулирующим внутри него криоагентом с более низкой температурой, чем температура охлаждаемой жидкости. Реализация данного способа сводит-



а) б)

Рис. 5. Схемы охлаждения криогенных жидкостей с помощью цикла: а) с погружным теплообменником; б) с охлаждением в процессе выдачи: 1 – компрессор; 2, 4 – теплообменники; 3 – детандер; 5 – резервуар



а) б)

Рис. 6. Схемы охлаждения криогенных продуктов с использованием постороннего хладагента: а) охлаждение в процессе хранения; б) охлаждение в процессе выдачи

ся, таким образом, несмотря на все многообразие схем, к двум случаям (*рисунок 5*):

а) охлаждение продукта в резервуаре;

б) охлаждение продукта, при выдаче его потребителю, в потоке.

При охлаждении продукта в резервуаре[1] (*рисунок 5а*) длительность процесса может быть увеличена, вследствие чего мощность охлаждающих средств может быть снижена в сравнении со вторым случаем (*рисунок 5б*).

При охлаждении криогенного продукта непосредственно при выдаче его потребителю (*рисунок 5б*), его загрязнение сводится к минимуму, но возрастает требуемая холодопроизводительность. Однако, в этом случае на поверхности погружного теплообменника, одновременно с процессом охлаждения, может произойти образование твердой фазы продукта, что может привести к затруднению процесса теплообмена.

В данном случае источником холода может быть криогенный продукт с температурой кипения ниже, чем охлаждаемая жидкость (*рисунок 6*).

На практике же в качестве криогенного агента, вследствие доступности и взрыво- и пожаробезопасности, используется, в основном, жидкий азот ($T_{кип.}$=77,4К), чаще всего – при охлаждении кислорода ($T_{кип.}$=90,2К).

Достоинства и недостатки описанного способа охлаждения приведены в *таблице 1*.

4. Комбинированные методы

Как часто бывает на практике, в чистом виде перечисленные выше способы охлаждения используются довольно редко. Чаще всего, применяется их комбинация, позволяющая нивелировать недостатки одних способов за счет достоинств других.

Например, для охлаждения необходимого криогенного продукта до температуры, стремящейся к температуре тройной точки, можно воспользоваться следующим комбинированным способом [9].

В схему охлаждения жидкости включается вакуумный агрегат, откачивающий пары в резервуаре со сторонним криогенным продуктом, тем самым снижая температуру жидкости при выдачи ее потребителю.

Для реализации процесса охлаждения, например, жидкого кислорода, сторонним криогенным продуктом чаще всего является бинарная равновесная смесь (50% азота+50% кислорода). Использование бинарной смеси позволяет получать температуру охлажденного кислорода вплоть до T_{O2} = 54,4 К. Однако реализация описанного процесса связана с дополнительными трудностями вследствие необходимости отдельного приготовления охлаждающей смеси указанного выше состава.

В ПАО «Криогенмаш», в связи с развитием заправочных систем для РН, использующих топливную пару «кислород-водород», а также необходимостью охлаждения криогенных продуктов до температуры тройной точки компонентов топлива, была разработана схема [11], которая реализует комбинированный метод охлаждения, с комплексным использованием криогенных жидкостей. Особенность схемы (*рисунок 7*) состоит в том, что для охлаждения жидкого кислорода в ней используется холод отбросных паров водорода.

Таким образом, по отношению к системе заправки КТС жидким кислородом, пары водорода являются сторонним криогенным продуктом. Охлаждение же самого водорода осуществляется вакуумированием парового пространства в специальном резервуаре [9].

Использование гелия (как промежуточного теплоносителя между компонентами криоген-

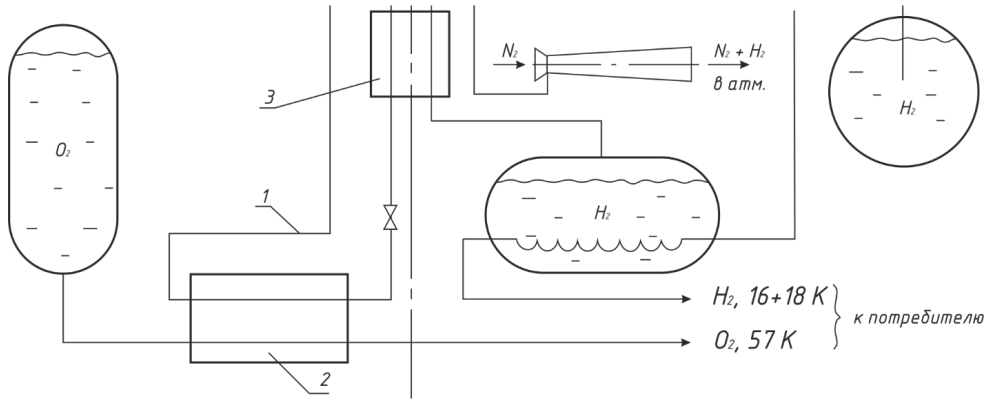


Рис. 7. Схема охлаждения комбинированным методом с комплексным использованием криогенных компонентов топлива: 1 – контур естественной циркуляции; 2 – теплообменник гелий-кислород; 3 – теплообменник гелий-водород

[1] В отечественной практике данный способ применяется для охлаждения жидкого водорода.

ного топлива) с давлением с давлением большим, чем давление каждого компонента пары «водород-кислород», а также то, что в схеме присутствуют ТОА конвективного теплообмена дает данной схеме целый ряд *преимуществ*, приведенных в *таблице 1*.

Гелий при реализации указанного способа циркулирует в контуре естественной циркуляции под высоким (p=15,0 МПа) давлением за счет разности плотностей, которую создают пары: «гелий-водород» и «гелий-кислород», в теплообменниках, расположенных на разных высотных отметках.

Результаты исследования работы контура естественной циркуляции в составе системы охлаждения кислорода представлены в работе [9].

Заключение

Рассмотрены и проанализированы основные технические приемы охлаждения сжиженного метана для хранения и заправки ракеты-носителя, а также их комбинация.

1. Вакуумирование парового пространства сосудов для хранения продукта – наиболее распространенный в части применения в промыш-

Таблица 1

Достоинства и недостатки различных способов охлаждения

№ п/п	Способ охлаждения криогенных продуктов, предназначенных для заправки ракеты-носителя	Достоинства	Недостатки
1.	Вакуумирование парового пространства сосудов для хранения жидкого криогенного топлива	– универсальность; – простота используемого оборудования; – надежность; – низкие капитальные и эксплуатационные затраты; – высокая пожаро-, взрывобезопасность.	– низкая экономичность; – низкая производительность.
2.	Барботирование объема криогенной жидкости охлажденным газом	– высокая надежность; – возможность поддержания в резервуаре давления, избыточного по отношению к давлению окружающей среды и, как следствие, - исключение (значительное снижение вероятности) попадания веществ окружающей среды в охлаждаемый криогенный продукт.	загрязнение криогенного продукта (ввиду растворения в нем гелия), и, как следствие, получение в результате на выходе гелированного продукта, что, зачастую, недопустимо при использовании в ракетно-космической отрасли (условия невесомости, возникновение кавитации при перекачке турбонасосами и проч.), кроме того, дополнительно: – при использовании разомкнутой схемы – необходимость наличия большого количества достаточно дорогого и дефицитного гелия, и как следствие, ограничение практического применения; – при использовании разомкнутой схемы – необходимость наличия сложного машинного оборудования, необходимого для получения холода
3.	Использование внешних поглотителей тепла	– высокая взрыво- и пожаробезопасность; – низкая вероятность загрязнения охлаждаемой жидкости веществами окружающей среды; – меньшая (в сравнении с другими) мощность установки.	– в случае охлаждения в резервуаре: продукт в резервуаре будет находиться при пониженном давлении, вследствие чего может быть ухудшено его качество за счет загрязнения компонентами окружающей среды; – в случае охлаждения в процессе выдачи: * низкая эффективность (в термодинамическом отношении); * высокая стоимость
4.	Комбинированный метод (с комплексным использованием криогенных компонентов топлива)	– высокая надежность; – высокая пожаробезопасность; – высокая взрывобезопасность; – регулируемость температуры продукта в широком диапазоне; – гарантированная чистота продуктов; – возможность непрерывного охлаждения; – утилизация холода отбросного продукта.	увеличенная технологичность схемы (увеличенная сложность оборудования)

ленных криогенных системах метод, который может быть реализован как в хранилище, так и в теплообменнике-охладителе непосредственно в процессе выдачи продукта потребителю.

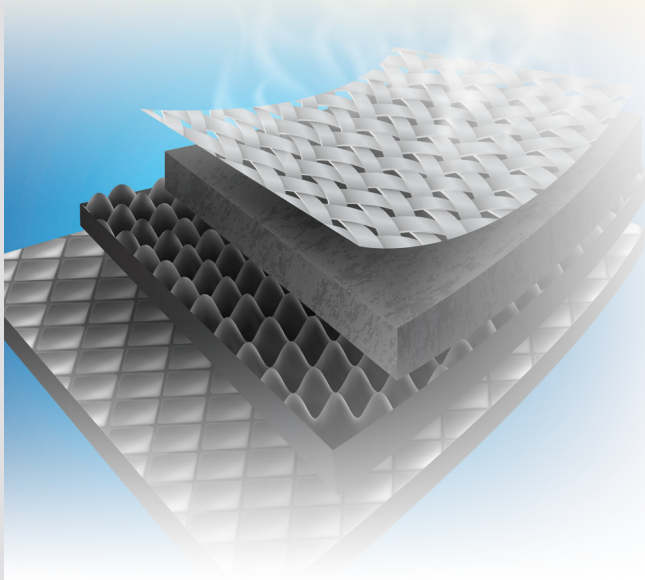
2. Барботирование объема жидкости охлажденным газом, которое может быть реализовано разомкнутой и замкнутой схемами барботажного охлаждения

3. Использование внешних источников холода. Пути реализации: охлаждение продукта непосредственно в сосуде; охлаждение в потоке при выдаче продукта потребителю.

4. Сопоставление метода комбинированного охлаждения при комплексном использовании криогенных продуктов с методом вакуумирования стороннего криогенного агента показывает, что практическое применение схемы комбинированного охлаждения с комплексным использованием криогенных компонентов позволяет получать значительный экономический эффект.

Литература

1. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справ. изд. / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовкин, Л.Н. Смирнова; под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. М.: Химия, 1989. 672 с.
2. Безотказная, как автомат Калашникова: метановая ракета «Амур» [Электронный ресурс] // https://www.roscosmos.ru/29357/.
3. Rocket engine «Raptor» (Ракетный двигатель «Раптор») [Электронный ресурс] // https://www.spacex.com/vehicles/starship/.
4. Редькин В.В., Смородин А.И., Сергеев С.С., Кулик М.В., Коробков А.А. Конкурирующие варианты структурно-технологических схем азотных адсорбционно-криогенных установок криотермовакуумных камер для термовакуумных испытаний космических аппаратов // Известия Института инженерной физики, 2020. № 1(55). С.24-31.
5. Редькин В.В., Смородин А.И., Сергеев С.С., Кулик М.В., Коробков А.А. Математическая модель и методика расчета теплообменного оборудования базового варианта структурно-технологической схемы адсорбционно-криогенной установки // Известия Института инженерной физики, 2020. № 2(56). С.25-32.
6. Смородин А.И., Сергеев С.С., Кулик М.В., Коробков А.А. Научно-методический аппарат расчета детандер-компрессорного агрегата структурно-технологической схемы адсорбционно-криогенной установки // Известия Института инженерной физики, 2020. №3(57). С.2-9.
7. 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.
8. 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.
9. Смородин А.И. Создание и исследование аппаратов низкотемпературной техники с фазовыми превращениями на рабочих поверхностях: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.03: Москва, 2004. 298 с. РГБ ОД, 71:05-5/168.
10. Гиббс Дж.В. Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука, 1982. 584 с.
11. ПАО «Криогенмаш, раздел «Наука» [Электронный ресурс] // https://cryogenmash.ru/science.



УДК: 687.1.004.12

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОСЛОЙНОМ ПАКЕТЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ НАГРЕВАЕМЫМ СЛОЕМ

SOME QUESTIONS OF MODELING OF NON–STATIONARY THERMAL PROCESSES IN A MULTILAYER PACKAGE OF THERMAL INSULATION MATERIALS WITH AN ADDITIONAL HEATED LAYER

Андрей Евгеньевич Морозов
кандидат технических наук, доцент
начальник филиала
ВА РВСН имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная д. 17
Тел.: +7 (4967) 72-19-11
E-mail: varvsn-serp@mil.ru

Андрей Сергеевич Бутранов
адъюнкт
филиал ВА РВСН имени Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная д. 17
Тел.: +7(4967)72-19-11
E-mail: varvsn-serp@mil.ru

Аннотация
В статье представлено описание предлагаемых технических решений в области совершенствования теплозащитных свойств одежды за счет оптимизации теплозащитного пакета материалов с регулируемым тепловым сопротивлением и подходы к моделированию нестационарных тепловых процессов в многослойном пакете теплоизоляционных материалов с дополнительным нагреваемым слоем.
Ключевые слова: средства индивидуальной защиты человека от холода, электрообогреваемая одежда, моделирование нестационарных тепловых процессов, теплоизоляция комплекта одежды.

Summary
The article describes the proposed technical solutions in the field of improving the thermal protection properties of clothing by optimizing the thermal protection package of materials with adjustable thermal resistance and approaches to modeling non-stationary thermal processes in a multilayer package of thermal insulation materials with an additional heated layer.
Keywords: personal protective equipment against cold, electrically heated clothing, modeling of non-stationary thermal processes, thermal insulation of a set of clothing.

Разнообразие климата в условиях жизнедеятельности человека требует, чтобы одежда для его защиты от холода изготавливалась с различными теплофизическими параметрами, соответствующими реальным характеристикам окружающей природной среды. Чтобы создать такую одежду, необходимы сведения о ряде физиологических показателей пользователей и о зависимости теплозащитных функций одежды в целом от технических параметров пакета материалов и конструктивно-компоновочной схемы одежды. Особую роль одежда приобретает в тех случаях, когда человек вынужден длительное время находиться на открытом воздухе или подвергаться охлаждению в закрытых помещениях. При этом создание одежды, соответствующей по своим теплоизоляционным свойствам реальным условиям ее эксплуатации, является необходимым требованием для обеспечения нормальной жизнедеятельности и работоспособности человека. В ответ на внешнее холодовое воздействие в организме включаются механизмы терморегуляции, повышающие теплопродукцию организма. Однако этот механизм поддержания температурного гомеостаза, сопровождающийся выраженным напряжением различных функциональных систем человека, малоэффективен.

Одной из важнейших функций защитной одежды – создание для человека комфортного теплоощущения, которое является условием

нормальной жизнедеятельности, хорошего самочувствия и высокой работоспособности, т.е. нормального теплового состояния, которое поддерживается при определенном соотношении процессов теплообразования и теплоотдачи. Тепловой комфорт означает термически нейтральное состояние, т.е. в этих условиях механизмы терморегуляции не испытывают напряжения. Наибольшее значение в сохранении температурного постоянства имеет теплоизоляция, создаваемая одеждой (пассивная терморегуляция). Если теплозащитные свойства одежды не соответствуют условиям эксплуатации, процессы регулирования температуры тела не в состоянии, даже при незначительном охлаждении, продолжительное время поддерживать необходимый уровень теплового баланса. Основная роль в защите человека от холода принадлежит поведенческой терморегуляции, которая заключается в активном, целенаправленном регулировании термической нагрузки на организм, поскольку биологические возможности человека весьма ограничены. То есть структура пакета материалов, соответствующих условиям эксплуатации для решения соответствующих задач, регулируется на этапе выбора экипировки в зависимости от температуры среды и физической активности человека.

Тепловое состояние человека применительно к тепловому комфорту в условиях пониженных температур определяется процессами теплопродукции организма и передачей тепла через пакет материалов в окружающую среду.

Теплозащитная одежда изолирует организм человека от окружающей среды, создавая внутри пакета материалов определенный микроклимат, состояние которого определяется процессами теплоотдачи с поверхности тела человека, структурой пакета материалов и его характеристиками, а также внешними условиями. При низких температурах выработка тепла организмом определяется основным обменом веществ и характером физической активности человека.

Современные текстильные материалы, не уступающие и даже в ряде параметров превосходящие натуральные природные, позволяют создавать экипировку, отвечающей требованиям нормативной документации, для защиты человека от воздействия низких температур в различных климатических зонах Российской Федерации. К недостаткам таких материалов можно отнести отсутствие возможности регулирования их теплозащитных свойств в процессе эксплуатации в зависимости от внешних условий и характера деятельности человека.

Сложность создания средств индивидуальной защиты от холода (СИЗХ) заключается в противоречивости требований к ним: СИЗХ одновременно должны обладать высокими теплозащитными показателями, малой массой, не ограничивать свободу движений, защищать влаги, ветра и не препятствовать удалению влаги с поверхности тела человека. Создание СИЗХ в соответствии с гигиеническими требованиями осложняется изменчивостью метеорологических условий, физической активности человека, продолжительности его пребывания на холоде, особенностями теплообмена в области головы, стоп, кистей, низкой эффективностью их утепления.

В связи с ограниченными возможностями пассивных систем теплозащиты в настоящее время в отечественной и зарубежной практике активно проводятся исследования в области совершенствования теплозащитных свойств одежды. При этом активные системы теплозащиты получают все более широкое распространение. Они обеспечивают не только повышение теплозащитных свойств обмундирования, но и возможность регулирования таких свойств одежды в зависимости от физической активности и условий окружающей среды.

Совершенствование процесса проектирования одежды для эксплуатации в экстремальных условиях возможно на основе разработки и оптимизации теплозащитного пакета материалов с регулируемым тепловым сопротивлением и многокомпонентного построения одежды, что обеспечивает тепловой баланс человека в зависимости от климатических условий и его индивидуальных особенностей.

Разработка СИЗХ с возможностью изменения теплового сопротивления в зависимости от условий эксплуатации позволит реализовать защиту человека от холода, используя при этом комплект пакета одежды с использованием ограниченного и довольно небольшого количества слоев. Такой комплект теплозащитной одежды должен минимизировать возможный недостаток тепла в организме путем поддержания оптимального микроклимата внутри пакета материалов в стационарных и нестационарных условиях тепломассообмена.

Одним из перспективных путей создания одежды для защиты от холода является применение дополнительного внешнего источника тепла, который обеспечивает необходимый тепловой баланс при одновременном снижении массы составляющих комплекта одежды, что обеспечивает повышение работоспособности человека и сокращение непроизводительных временных затрат на обогрев.

В случае применения материалов с улучшен-

ными характеристиками, интенсивность процессов тепломассообмена в системе «элемент тела – пакет материалов – среда» характеризуется: общей толщиной пакета материалов, его плотностью и теплоемкостью, теплопроводностью каждого слоя и варианта их комплектации. Интенсивность теплопотерь и тепловой баланс определяются внешними условиями окружающей среды.

Под теплоизоляцией комплекта одежды I_k, $м^2 \cdot °C/Вт$, понимается полное сопротивление переносу тепла от поверхности тела человека во внешнюю среду (включая материалы одежды, воздушные прослойки между ними и пограничный слой воздуха, прилегающий к наружной поверхности одежды), представляющее собой отношение разности средневзвешенной температуры кожи и температуры окружающей среды к плотности теплового потока с поверхности тела и имеет вид:

$$I_K = \frac{(T_K - T_B)}{q_n}, \qquad (1)$$

где T_K – средневзвешенная температура кожи, °С;
T_B – температура окружающей среды, °С;
q_n – плотность теплового потока, $Вт/м^2$.

Плотность сухого теплового потока, тепловой поток q_n, $Вт/м^2$ – мощность тепловой энергии, проходящей за единицу времени через единицу поверхности. Сухой тепловой поток – тепловой поток, состоящий из одного или более компонентов: кондуктивного, конвективного или радиационного.

Тепловое сопротивление (теплоизоляция) R_{cl}, $м^2 \cdot °C/Вт$ – определяется как отношение разности температур между двумя поверхностями (слоя, пакета) к результирующему сухому тепловому потоку через единицу поверхности (слоя, пакета) в направлении температурного градиента. Сухой тепловой поток может включать несколько составляющих (теплопроводность, конвекцию и радиацию). Тепловое сопротивление является количественной характеристикой текстильных материалов или их комбинаций, которая определяет сухой тепловой поток сквозь данную поверхность под воздействием установившегося температурного напора.

Предлагается следующее модельное представление процессов тепломассообмена в системе «элемент тела – пакет материалов – среда» (*рисунок 1*).

Элемент тела человека представляется в виде некоторого объемного источника тепла (поз. 1) с тепловыделяющей поверхностью (поз. 2), расположенной на границе области тепловыделения. Пакет материалов, требуемого комплекта теплозащитной одежды представляется в виде системы последовательно расположенных на поверхности элемента тела слоев (поз. 3). Предлагается следующая расчетная схема тепловой модели для системы «элемент тела человека – пакет материалов – среда» (*рисунок 1*), где объемный источник тепла определяется областью I, температура которой $t_{эм}$,ºС поддерживается за счет физиологических механизмов терморегуляции человека. Выделяемое тепло с определенной плотностью потока $q_{эт}$, передается коже человека (граница 1), представляемой как теплоизлучающая поверхность, и далее пакету материалов (область II) заданной толщины, для обеспечения требуемой теплоизоляции, путем излучения или конвекции рассеиваясь во внутренний объем пододежного пространства, далее поглощаясь нижним слоем пакета материалов.

В комплекте рассматриваемой теплозащитной одежды выделяемое тепло за счет теплопроводности передается через структуру наполнителей составляющих материалы и воздушные прослойки слоев пакета, составляющие материалы. Далее тепло с поверхности пакета материалов (граница 2) рассеивается в окружающую среду (область III) конвекцией $q_{конв}$ и излучением $q_{луч}$.

Изменение порядка составляющих слоев в пакетах теплозащитных материалов может привести к существенному изменению характеристик теплозащитной одежды, при этом значение теплопроводности современных теплозащит-

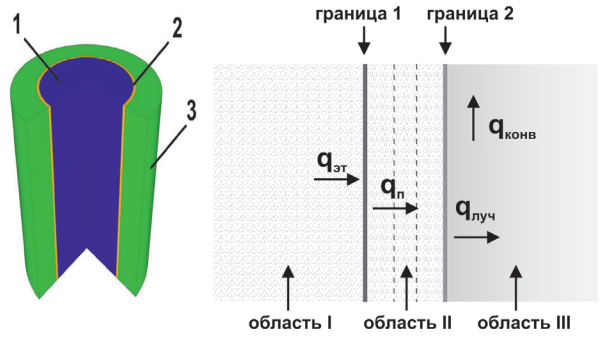


Рис. 1. Объемная модель и расчетная схема элемента тела человека и пакета материалов теплозащитной одежды

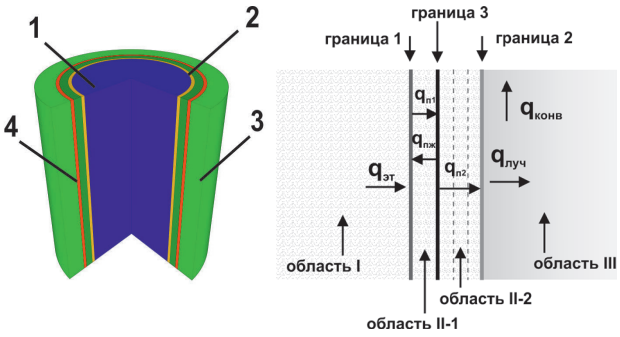


Рис. 2. Объемная модель и расчетная схема математической модели с нагреваемым слоем

ных материалов не является постоянной величиной, а зависит от многих факторов, к примеру, от температуры самого образца.

В предлагаемой (*рисунок 2*), расчетной схеме имитационной математической модели, изменяется не последовательность слоев в пакете материалов, а вводится дополнительный нагреваемый слой (граница 3).

В соответствии с предлагаемой расчетной схемой, область I можно разделить на область II-1 и область II-2, с тепловыми потоками q_{n1} и q_{n2}, тепловым потоком нагреваемого слоя $q_{пж}$, направленным (допущение), из-за наличия отражающего слоя и утеплителя на внешней стороне нагревателя, внутрь пакета материалов, относительно окружающей среды (область III).

С помощью имитационной математической модели необходимо определить влияние дополнительного нагреваемого слоя на теплоизоляцию пакета материалов при различных мощностях нагревательного элемента дополнительного слоя, энергозатратах человека (интенсивности физической работы) и температуры окружающей среды.

$$\Delta I_k = F(P_н, q_м, T_c)$$

где ΔI_k – изменение теплоизоляции пакета материалов;

$P_н$ – мощность нагревательного элемента дополнительного слоя;

$q_м$ – энергозатраты человека;

T_c – температура окружающей среды.

Математическая имитационная модель нестационарных тепловых процессов в многослойном пакете теплоизоляционных материалов с дополнительным нагреваемым слоем должна отвечать следующим требованиям: математическая модель должна обеспечивать возможность оценки степени влияния многочисленных составляющих, входящих в единую систему «человек – обогреваемый пакет материалов – внешняя среда» для получения информации о возможности использования различных теплоизоляционных и теплоотражающих материалов и их сочетаний при построении системы электронагревателя на основе токопроводящего провода.

Расчетная схема проектируется согласно обобщенной схеме теплообмена в системе «элемента тела человека – пакет материалов – внешняя среда» (*рисунок 2)*, и должна быть приближена к физической модели элемента тела человека.

Модель должна позволять проводить расчеты температурного поля в слоях пакета материалов при различных условиях теплообмена элемента тела человека с внешней средой. Для разработки и решения уравнений математической имитационной модели теплообмена в пакете материалов необходим определенный набор исходных данных. Потребуется учитывать экспериментально полученные величины плотности теплового потока через структуру пакета материалов и значения теплофизических свойств используемых образцов теплозащитных материалов.

Применение средств индивидуальной защиты от низких температур необходимо для обеспечения жизнедеятельности человека любого из регионов России, при этом одежда с подогревом может широко применяться во всех областях России с пониженными температурами, как государственными, так и коммерческими структурами. Электрообогреваемая одежда увеличивает продолжительность пребывания на открытом воздухе в осенне-весенний и зимний периоды, служит надежной защитой в условиях пониженных температур, ветра и повышенной влажности. Использование комплектов **с** системой активного локального обогрева в защитной экипировке позволяет в условиях пониженных температур не пользоваться дополнительной утепляющей одеждой. Достоинство спецодежды с электрообогревом состоит в том, что при подводе тепловой энергии отсутствуют устройства, поддерживающие циркуляцию теплоносителя. Используя электрообогрев можно реализовать обогрев различных участков тела, в том числе и локальный, а также обеспечить поддержание требуемой температуры нагревательных элементов в обогреваемой одежде. Система локального электрообогрева в качестве дополнительного слоя экипировки с возможностью регулировки мощности позволяет снизить количество слоев одежды и адаптировать тепловой баланс к интенсивности физической нагрузки и температурным условиям.

Литература

1. ГОСТ Р 12.4.236-2011 г. «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур». Технические требования.

2. Методические рекомендации МР 2.2.8.2127-06 «Гигиенические требования к теплоизоляции комплекта средств индивидуальной защиты от холода в различных климатических регионах и методы ее оценки».

3. Иващенко И.Н., Шмалько С.П. Регрессионные модели и оптимизация суммарного теплового сопротивления покровных материалов одежды для нефтяников // Современные проблемы науки и образования, 2014. №3. С.107.

4. Кощеев В.С. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода. М.: Медицина, 1981. 288 с.

5. Абрамов А.В., Родичева М.В. Повышение качества теплозащитной спецодежды за счет материалов с изменяемым уровнем функциональных свойств // Сб. статей МНПК «Актуальные проблемы естественнонаучного образования, защиты окружающей среды и человека», 2016.
6. Патент на промышленный образец RU 121701, Жилет обогревающий.
7. Мартынов С.В., Ерёмин Б.Г., Никитенко В.В., Бутранов А.С. Методика применения теплового манекена для оценки теплофизических свойств эвакуационного средства // Известия Института инженерной физики, 2018. №4(50). С.32-38.
8. Мартынов С.В., Ерёмин Б.Г., Назаров А.В., Бутранов А.С. Экспериментальная оценка теплозащитных функций средств индивидуальной защиты военнослужащего от холода с применением теплового манекена // Известия Института инженерной физики, 2019. №1(51). С.7-12.
9. Бутранов А.С., Ерёмин Б.Г., Мартынов С.В., Никитенко В.В. Регрессионная зависимость поддержания комфортного физиологического состояния военнослужащего, одетого в всесезонный комплект полевого обмундирования с активной системой электрообогрева в условиях низких температур // Известия Института инженерной физики, 2019. №1(51). С.2-6.
10. Бутранов А.С. Жилет обогревающий // Вестник военного образования, 2020. №24. С.39-41.

УДК 629.78.01

МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ

SPACE OBSERVATION METHODS

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

Сергей Юрьевич Побережский
кандидат технических наук
доцент
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: +7 (499) 158-44-25
E-mail: ps801801@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 –
заместитель Председателя Правления Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: dv_smr@iifmail.ru

Аннотация
В статье рассмотрены средства космического наблюдения. Представлена их классификация по продолжительности охватываемого периода, проведен анализ методов применения.
Ключевые слова: средства космического наблюдения, космический аппарат, бортовая целевая аппаратура, методы применения.

Summary
The article discusses the means of space observation. Their classification by the duration of the period covered is presented, an analysis of the methods of application is carried out.
Keywords: space observation means, spacecraft, onboard target equipment, application methods.

Введение

Средства космического наблюдения (СКН) предоставляют уникальную возможность получать ценную информацию о земных объектах и явлениях в глобальном масштабе с высоким пространственным и временным разрешением. Космическая съемка поверхности Земли определяет физические, химические, биологические, геометрические параметры объектов наблюдения в различных средах Земли, как правило, используя функциональную зависимость между инструментальной способностью космической техники и искомыми параметрами. Спектральный диапазон бортовых измерителей выбирается при их разработке в зависимости от целевой задачи космического аппарата (КА).

СКН могут выполнять множество функций и использоваться как в научных целях, так и в интересах Вооруженных сил (ВС). Чаще всего в качестве СКН рассматриваются КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Классификация средств космического наблюдения

По продолжительности охватываемого периода применения СКН подразделяется на перспективное (до 5 лет), годовое, активное (до месяца) и текущее (на 1-2 суток).

При перспективном применении учитываются прогнозируемое развитие военно-политической обстановки, научных тенденций и изменения оперативного оборудования исследуемых территорий, содержание задач и заявок на СКН программы создания и производства орбитальных и наземных средств наблюдения.

Годовое применение осуществляется на основании целевых задач СКН и планов на развитие средств ВС Российской Федерации (РФ) на текущий год, состояния и состава орбитальной группировки СКН. Оно осуществляется для мирного и военного времени.

Согласованное использование КА ДЗЗ основано на активном и текущем применении

СКН. В ходе активного применения разрабатываются программа СКН на месяц и на менее продолжительный период, как правило, до 10 суток. Главным содержанием активного применения СКН на месяц является:

- определение основных задач СКН и их ранжирование по важности;
- распределение задач по видам СКН и типам КА, входящих в их состав;
- оценка потребного ресурса средств СКН и прогнозирование уровней решения задач;
- уточнение плана запусков и посадок исследовательских КА на планируемый месяц.

Применение СКН на период до 10 суток осуществляется с учетом поступающих дополнительных задач и внеплановых заявок на СКН, а также изменений в военно-политической, стратегической и оперативной обстановке, в плане научных исследований и предназначено для разработки схем полета КА ДЗЗ, выдачи исходных данных для расчета циклограмм работы орбитальных и наземных средств, а также подготовки целевой обстановки для осуществления текущего применения.

Текущее применение СКН заключается в формировании параметров включений бортовой целевой аппаратуры (БЦА) и разработке рабочих программ управления БЦА КА. Оно проводится на основе опорных включений БЦА, расписанных при активном применении СКН на период до 10 суток, и осуществляется ежесуточно, отдельно по каждому КА.

Обзор методов применения средств космического наблюдения

Решение задач разведывательно-информационного обеспечения ВС предъявляет повышенные требования к непрерывности, достоверности, точности и оперативности информационного обеспечения, что обусловлено растущей динамикой развития КА ведущими государствами и расширением перечня объектов наблюдения, отличающихся высокой мобильностью, значительным увеличением площади районов наблюдения. Значение указанных факторов существенно зависят от показателей качества функционирования космических систем СКН – производительности и периодичности. Одним из перспективных направлений улучшения этих показателей является совершенствование организации согласованного применения КА. Теоретическую основу этого процесса составляют методы оптимального применения СКН. В зависимости от возможностей БЦА СКН подразделяется на – СКН детального наблюдения и анализа и СКН обзорного наблюдения и анализа. В научно-технической литературе достаточно широко представлено описание задач применения и методов их решения для КА детального наблюдения заданных объектов.

Так в работе [1] описаны основные методы организации целевого функционирования космических систем наблюдения и связи, дано их краткое описание и оценка, произведен обзор работ посвященных данной тематике, описан обобщающий метод применения, предложенный самим автором.

В работе [2] сформулирована задача оперативного применения БЦА КА при электроэнергетических ограничениях. Разработан алгоритм, реализующийся на основе методов оптимального распределения ресурсов. Во время полета БЦА КА работает в штатном режиме согласно программе полета, соответственно энергобаланс КА не нарушается. При оперативном изменении программы полета или нештатной ситуации энергобаланс КА нарушается и может привести к несанкционированному отключению или не срабатыванию БЦА КА. Для избегания таких ситуаций происходит автоматическая коррекция программы электропотребления с учетом располагаемых энерговозможностей КА. В данной работе рассматривается применение БЦА КА только со стороны энергопотребления без учета возможного объема накопления информации БЦА КА, возможностей ее передач и ее оперативности.

В работе [3] в качестве показателя качества функционирования космического аппарата СКН, при обслуживании ими групповых целей на ограниченном временном интервале использовалась производительность, определяемая как количество целей, обслуживаемых на одном эквивалентном участке функционирования. Задача решалась методом случайного направленного поиска с отсечением неперспективных вариантов (которые определялись как количество оставшихся объектов). Увеличение производительности системы повышалось за счет повышения оперативности углового маневрирования корпуса КА. В этой работе рассматривалась моментальная съемка целей. Однако задача эта решалась для КА работающих в режиме детального наблюдения Земли.

В работе [4] используется метод «поиска перспективных объектов». В основе этого метода лежит идея метода динамического программирования, когда проведение сравнения маршрутов проводится на каждом шаге построения маршрута, но принцип оптимальности здесь не используется. Оптимальное решение достигается за счет введение доминирующих условий од-

них вариантов над другими. Составление плана проводилось для КА, который разворачивался только по углу крена.

Методика, рассмотренная в работе [3], позволяет решить задачу для вращения КА по трем осям ориентации, что делает возможным съемку объектов с возвратом по углу тангажа. Для решения используется метод «поиска перспективных объектов» описанный в [4], но для возможности перенацеливания по трем углам ориентации. В основе этого метода лежит идея метода динамического программирования, когда проведение сравнения маршрутов проводится на каждом шаге построения маршрута.

В работе [4] представлена методика составления расписания при различных способах выбора объектов наблюдения. Данные методики разработаны для КА детального наблюдения, что не позволяет применять их для КА работающих в обзорном режиме, в них не учитываются технические ограничения работы БЦА КА по памяти и энергопотреблению.

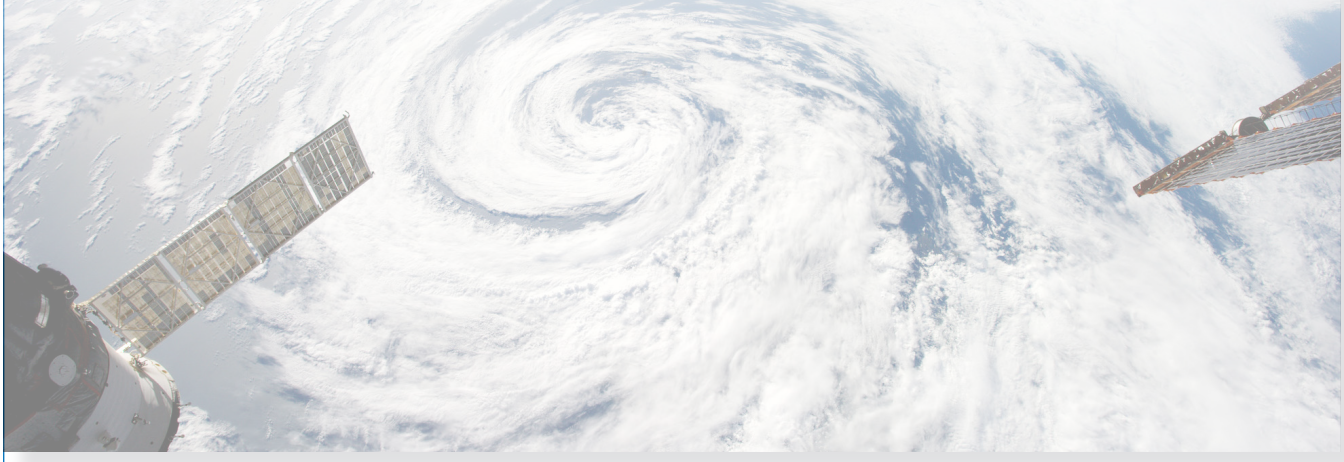
В работе [3, 5] задача применения БЦА в обзорном режиме рассмотрена для сравнительно небольших участков земной поверхности, соизмеримых по площади с зоной обзора КА (например, для поиска групп интересуемых объектов, для определения их параметров и проверке их соответствия заданным).

Заключение

Проведенный анализ научно-технической литературы в данной предметной области показал, что на сегодняшний день широко представлены методы решения задач применения СКН в детальном режиме. Задача применения БЦА в обзорном режиме рассмотрена для сравнительно небольших участков земной поверхности, соизмеримых по площади с зоной обзора КА. Однако, в последнее время возникли новые задачи СКН такие, как обеспечение информацией о районе континентального арктического шельфа, исследование состояния северного морского пути и океанских акваторий. Сложность решения задачи обусловлена масштабностью исследуемых областей, целевой аппаратурой КА и наличием ограничений на расход электроэнергии, на пропускную способность каналов связи, на объемы накапливаемой и передаваемой на наземные комплексы приема, обработки и распределения целевой информации. Поэтому возникает необходимость дальнейшего совершенствования теоретических методов согласованного применения СКН в обзорном режиме функционирования БЦА при съёмке обширных территорий. Конечной целью разработки новых методов является повышение показателей качества функционирования ОГ ДЗЗ за счет выбора рационального варианта согласованного применения ОГ КА СКН РФ.

Литература

1. Драпоных В.В. Планирование целевого функционирования космических аппаратов и систем: задачи, методы и алгоритмы их решения // Труды МАИ, 2004. Вып. 16.
2. Белов Д.Г. Формирование полетной программы КА при наличии электро-энергетических ограничений // Космическая наука и технология, 1997. Вып. 5/6.
3. Бырков Б.П., Головатенко-Абрамов В.И. Об оптимальном баллистическом построении систем ИСЗ периодического обзора районов земной поверхности // Исследование Земли из космоса, 1993. №6.
4. Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли. М.: Машиностроение, 1989. 263с.
5. Аншаков Г.П. Баллистико-навигационное обеспечение космического ап-парата дистанционного зондирования Земли «Ресурс-ДК» / Г.П. Аншаков, А.И. Мантуров, Я.А. Мостовой // Сборник трудов научной конференции «Вопросы баллистики». С-Пб.: ВКА, 2006. С.16-36.



УДК 621.317.42

МОДЕЛЬ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА ТРЕХ АНТЕНН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КАЛИБРОВКИ РАМОЧНЫХ МАГНИТНЫХ АНТЕНН

MODEL OF MEASUREMENTS ERROR OF THREE–ANTENNA METHOD FOR DETERMINE OF ANTENNA FACTORS OF MAGNETIC LOOP ANTENNAS

Михаил Вадимович Нефедов
старший научный сотрудник
ФГБУ «Главный научный метрологический центр» МО РФ
Адрес: 141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13
E-mail: kt-nefed@rambler.ru

Динара Истамовна Александрова
младший научный сотрудник
ФГБУ «Главный научный метрологический центр» МО РФ
Адрес: 141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13
E-mail: 120pi@rambler.ru

Аннотация

Предложена модель погрешности метода трех антенн для определения коэффициентов калибровки магнитных рамочных антенн. Рассмотрены основные источники погрешности при использовании метода трех антенн для рамочных магнитных антенн. Была проведена экспериментальная оценка предложенной модели погрешности.

Ключевые слова: рамочная антенна, коэффициент калибровки, метод трех антенн, метод эталонного поля, напряженность магнитного поля, погрешность, модель погрешности, измерительный приемник, анализатор спектра, генератор сигналов.

Summary

A model of measurements error of three-antenna method for determine of antenna factors of magnetic loop antennas is proposed. Main sources of measurements error when using three-antenna method for magnetic loop antennas are considered. An experimental evaluation of proposed model of measurements error was carried out.

Keywords: loop antenna, antenna factor, three-antenna method, standard field method, a model of measurements error, magnetic field strength, measurement receiver, spectrum analyzer, signal generator.

В настоящее время рамочные магнитные антенны (РМА) являются одним из наиболее распространенных видов измерительных антенн в Российской Федерации и используются при решении задач электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования, измерении параметров электромагнитного поля радиоэлектронных средств, проведении лабораторных исследований, выполнении задач технической защиты информации, а также мониторинга электромагнитной обстановки при контроле выполнения санитарно-эпидемиологических норм и требований.

Основной характеристикой РМА является коэффициент калибровки (КК), равный отношению величины напряженности магнитного поля (НМП) к значению напряжения на выходе антенны [1]. Для его определения был разработан и представлен метод определения КК РМА в диапазоне частот до 30 МГц, основанный на методе трех антенн, который до недавнего времени применялся в измерительной практике исключительно в СВЧ-диапазоне [2].

Данный метод стал адаптацией используемого за рубежом метода трех антенн для калибровки РМА с применением векторного анализатора цепей (ВАЦ) в узком диапазоне частот и динамическом диапазоне [3].

Усовершенствованный метод дал возможность проводить измерения характеристик РМА в диапазоне частот до 30 МГц с помощью генератора сигналов и измерительного приемника [4].

Суть разработанного метода трех антенн, применительно к рамочным антеннам, заключается

в проведении серии измерений в группе из трех антенн между парами антенн, расположенных на расстоянии R_0, в порядке 1-2, 1-3, 2-3, где вначале обозначается приемная антенна, а затем излучающая (*рисунок 1*). В случае определения характеристик активной антенны, именно она должна быть обозначена под первым номером.

В каждом случае измеряется напряжение с выхода приемной антенны, а затем на основе уравнений (1)-(3) определяется КК каждой из антенн:

$$\begin{cases} \text{КК}_1 = \sqrt{\dfrac{U_{23}U_s a_{12}a_{13}}{2U_{12}U_{13}a_{23}}}, \\ \text{КК}_2 = \sqrt{\dfrac{U_{13}U_s a_{12}a_{23}}{2U_{12}U_{23}a_{13}}}, \\ \text{КК}_3 = \sqrt{\dfrac{U_{12}U_s a_{13}a_{23}}{2U_{13}U_{23}a_{12}}}, \end{cases} \quad (1)$$

$$a_{lm} = \frac{\sqrt{1+k^2R_{lm}^2}}{j\omega\mu_0\pi ZR_{lm}^3}\left\{1+\frac{15(r_l r_m)^2}{8R_{lm}^4}+\frac{315(r_l r_m)^4}{64R_{lm}^8}\right\}, \quad (2)$$

$$R_{lm} = \sqrt{R_{0lm}{}^2 + r_l^2 + r_m{}^2} \quad (3)$$

где $КК_1$, $КК_2$, $КК_3$ – коэффициент калибровки каждой из рассматриваемых антенн, 1/Ом;

U_{12}, U_{13}, U_{23} – напряжение с выхода приемной антенны, В;

U_s – напряжение источника (напряжение с выхода измерительного генератора), В;

$(l,m)=(1,2),(1,3),(2,3)$;

a_{lm} – коэффициент, описывающий магнитное поле излучающей антенны, усредненное по площади приемной рамки;

R_{0lm} – расстояние между антеннами, м;

k – волновое число;

f – частота измерений, Гц;

μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м;

Z – нагрузка измерительной линии, Ом;

r_l, r_m – радиусы исследуемых антенн, м.

В результате разработанный метод трех антенн для определения КК РМА с использованием генератора сигналов (калибратора напряжения) и измерительного приемника (анализатора спектра) позволяет определять КК активных и пассивных РМА в требуемом частотном и динамическом диапазоне в рамках единой полеобразующей системы.

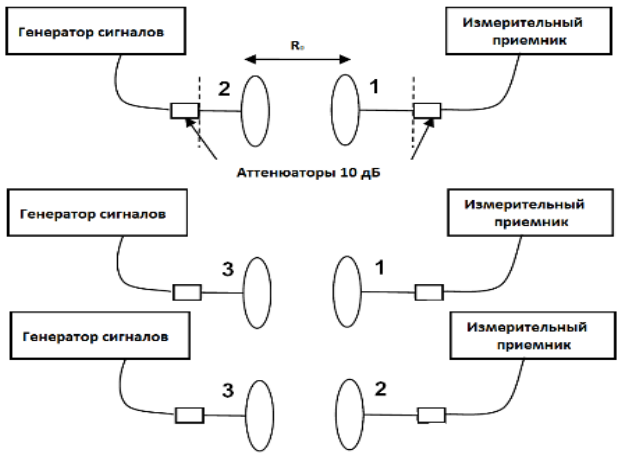


Рис. 1. Схема проведения измерений методом трех антенн

Одним из ключевых требований, предъявляемых нормативными документами к разработанному методу, является соблюдение требуемой точности определения КК РМА в процессе исследования их характеристик.

Согласно [5], в диапазоне частот от 0,000005 до 30 МГц в качестве эталонов НМП 2-го разряда используют генераторы магнитного поля с пределом допускаемых относительных погрешностей от $5\cdot10^{-2}$ до $8\cdot10^{-2}$.

Таким образом, относительная погрешность разработанного метода определения КК рамочных магнитных антенн не должна превышать 8%.

Источники погрешностей двух наиболее распространенных методов определения характеристик РМА – метода эталонного поля и метода образцовой антенны в настоящий момент хорошо изучены. Так в работе [6] проведен детальный анализ погрешностей метода эталонного поля, реализованного в виде установки с эталонной излучающей антенной.

Согласно этому анализу, основными источниками погрешностей метода эталонного поля с эталонной излучающей антенной являются:

- погрешность, вызванная допущениями при выводе расчетных формул;
- погрешность, вызванная неточностью измерения величин, входящих в расчетные формулы для напряженности магнитного поля;
- погрешность, вызванная несинусоидальностью тока в рамке;
- погрешность, вызванная несимметричностью диаграммы направленности рамки излучателя;
- погрешность, вызванная некоаксиальным расположением рамок излучателя и приемной антенны;
- погрешность, вызванная побочным излучением генератора сигналов и несовершенной экранировкой трактов;
- погрешность, вызванная неравномерным распределением тока в рамке;
- погрешность, вызванная окружающими предметами.

Метод трех антенн является родственным методу эталонного поля с излучающей антенной и методу образцовой антенны, поскольку также подразумевает создание магнитного поля в ограниченной области пространства, т.н. «рабочей зоне», с помощью излучающей антенны.

Источники погрешностей при определении КК РМА методом трех антенн с помощью ВАЦ также были исследованы в ряде зарубежных работ [7,8]. При этом результаты исследований оценивались в рамках термина «неопределённость измерения». Основными источниками неопределенности результатов измерений КК РМА, согласно этим исследованиям, являются:

- неопределенность измерения коэффициента передачи с помощью ВАЦ;
- неопределённость, вызванная несоосностью приемной и передающей антенн;
- неопределенность измерения расстояния между каждой парой антенн (1-2, 1-3, 2-3);
- неопределенность измерения диаметра каждой из антенн;
- неопределенность распространения магнитного поля внутри рамочной антенны;
- неопределенность, вызванная отражением от окружающих объектов и земли;
- неопределенность, определяемая повторяемостью характеристик измерительной системы.

Суммарная стандартная неопределенность при доверительной вероятности 95% (k=2) в данном случае была равна 0,84 дБ или 10%. Наибольший вклад в эту величину вносит неопределенность измерения коэффициента передачи – 2%. И хотя вклад этой составляющей относительно небольшой, её, как и неопределенность измерения расстояния и радиуса, необходимо учитывать трижды, для каждой пары антенн.

Проведенный анализ результатов измерений с помощью разработанного метода трех антенн с учетом указанных выше факторов показал, что погрешность определения КК разработанным методом с использованием генератора сигналов (калибратора напряжения) и измерительного приемника (анализатора спектра) определяется следующими влияющими факторами:

- погрешностью воспроизведения напряжения переменного тока U_s (мощности синусоидального сигнала) калибратором напряжения (генератором сигналов), подключенного к передающей рамочной антенне;
- погрешностью определения напряжений U_{12}, U_{13}, U_{23} на выходе приемной антенны;
- погрешностью определения радиуса r_1, r_2, r_3 рамочных антенн;
- взаимным расположением приемной и передающей антенн во время измерений;
- наличием переотражений от стен и пола;
- некорректным выбором расстояний d_{12}, d_{13}, d_{23} между антеннами и погрешностью его определения;

В основополагающих публикациях по реализации метода трех антенн для РМА с применением ВАЦ вопрос выбора расстояния между антеннами никак не рассматривался [9]. Между тем, исследования показывают [10], что выбор расстояния между антеннами является одним из наиболее критичных вопросов в процессе определения характеристик антенн с помощью метода эталонного поля, метода замещения и родственных им, к которым относится рассматриваемый метод трех антенн, особенно для частот свыше 5 МГц. На расстояниях между антеннами равных 1-2 радиусам приемной антенны и меньше на результаты измерений влияют зависимость угла между центром излучающей антенны и любой точкой на рамке приемной антенны от проекций составляющих НМП, воздействующих на приемную антенну [11], а на бо́льших расстояниях – уменьшение величины магнитного поля и появление неравномерностей его распределения вследствие уменьшения индукционной связи между антеннами.

Результаты исследований, приведенные в [12], показывают, что наиболее корректным расстоянием между приемной и передающей антенной будет являться расстояние, выбранное из условия:

$$\frac{r}{0{,}25} < R_0 < \frac{r}{0{,}23}, \qquad (4)$$

где r – радиус большей антенны, м.

Таким образом, в соответствии с [13], доверительные границы суммарной погрешности определения коэффициентов калибровки каждой из антенн, на основе систем уравнений (1)-(3) описываются уравнением:

$$\delta_i(f) = \pm 1{,}1\sqrt{\delta_1^2 + (\frac{\partial \delta_i}{\partial U_{12}}\delta_2)^2 + (\frac{\partial \delta_i}{\partial U_{13}}\delta_2)^2 + (\frac{\partial \delta_i}{\partial U_{23}}\delta_2)^2 + \delta_3 + \delta_4 + p^2 + q^2}, \qquad (5)$$

где i – номер антенны (1,2,3);
f – частота измерений, МГц;
δ_1 – граница частной составляющей погрешности воспроизведения напряжения переменного тока калибратором напряжения, %;
δ_2 – граница частной составляющей погрешности измерения напряжения с выхода приемной антенны анализатором спектра, %;
δ_3 – граница частной составляющей погрешности, обусловленной наличием переотражений от стен и пола, %;
δ_4 – граница частной составляющей погрешности, обусловленной некорректным выбором расстояния между антеннами, принимается равной 0,9% при выполнении условия (4);
p – погрешность определения радиуса каждой из антенн, %:

$$p^2 = p_1^2 + p_2^2 + p_3^2, \qquad (6)$$

$$p_i^2 = \left(\frac{\partial \delta_i}{\partial r_i} + \frac{\partial \delta_i}{\partial U_{ij}}\frac{\partial U_{ij}}{\partial r_i} + \frac{\partial \delta_i}{\partial U_{ik}}\frac{\partial U_{ik}}{\partial r_i}\right)^2 \Delta r_i^2, \quad (7)$$

где $(i,j,k)=(1,2,3),(2,1,3),(3,1,2)$;
r – радиус каждой из антенн, м;
d – расстояние между антеннами, м;
q - граница частной составляющей погрешности определения расстояния между антеннами,%:

$$q^2 = q_{12}^2 + q_{13}^2 + q_{23}^2, \quad (8)$$

$$q_{lm}^2 = \left(\frac{\partial \delta_i}{\partial d_{lm}} + \frac{\partial \delta_i}{\partial U_{lm}}\frac{\partial U_{lm}}{\partial d_{lm}}\right)^2 \Delta d_{lm}^2. \quad (9)$$

При этом, $\Delta r_i = \Delta d_{lm}$ – граница частной составляющей погрешности средства измерения длины, %.

Для проверки разработанной модели погрешности была проведена экспериментальная оценка погрешности определения КК РМА с помощью разработанного метода трех антенн при измерении рамочной антенны типа ЭЛ-01, в диапазоне частот от 10 Гц до 30 МГц.

В *таблице 1* показаны величины каждой из составляющих погрешности из (5), а также суммарная погрешность метода трех антенн на частоте 1 МГц для исследуемой антенны, рассчитанная на основе разработанной модели.

В качестве инструментальной погрешности анализатора спектра была принята погрешность определения уровня анализатором спектра FSV 13, в качестве погрешности воспроизведения гармонического синусоидального сигнала была принята погрешность воспроизведения напряжения калибратором напряжения Fluke 5720A, а в качестве погрешности средства измерения длины была принята погрешность измерения расстояния с помощью лазерного дальномера Leica Disto D8.

На *рисунке 2* показана зависимость погрешности определения коэффициента калибровки от частоты для антенны типа ЭЛ-01 разработанным методом трех антенн в диапазоне частот от 10 Гц до 30 МГц. Как видно из графика, наибольшая погрешность 0,608 дБ (или 6,759 %) достигается в точке 1 МГц.

Отсюда погрешность определения КК рамочных антенн методом трех антенн не превышает ±7,3%, т.е. ±0,61 дБ, что, согласно действующим нормативным документам, соответствует уровню эталона НМП 2-го разряда.

Таким образом, была разработана модель погрешности определения КК РМА методом трех антенн с использованием генератора сигналов и анализатора спектра. Данная модель характеризуется учетом составляющей погрешности, вызванной некорректным выбором расстояния между приемной и передающей антеннами, который существенно влияет на результаты определения КК РМА методом трех антенн и родственными ему методами эталонного поля, и метода замещения. Экспериментальная оценка погрешности измерений РМА на основе разра-

Таблица 1
Составляющие погрешности при реализации метода трех антенн

Составляющая	Значение, дБ	Коэффициент чувствительности, дБ	Суммарное значение, дБ
δ_1	0,028	0	0,028
δ_2	0,225	0,085	0,310
δ_3	0,069	0	0,069
δ_4	0,078	0	0,078
p	0,013	0,004	0,017
q	0,013	0,004	0,017
$\theta_i(f)$			0,608

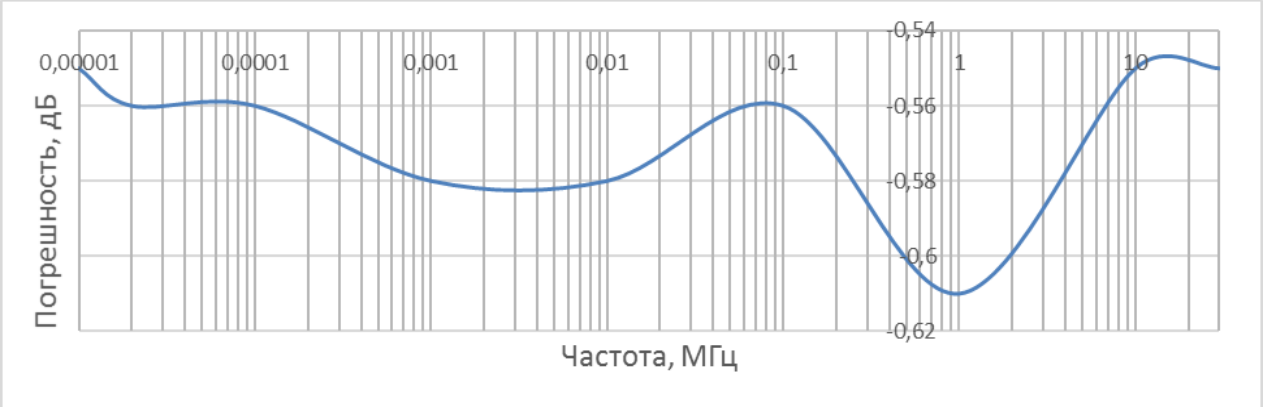
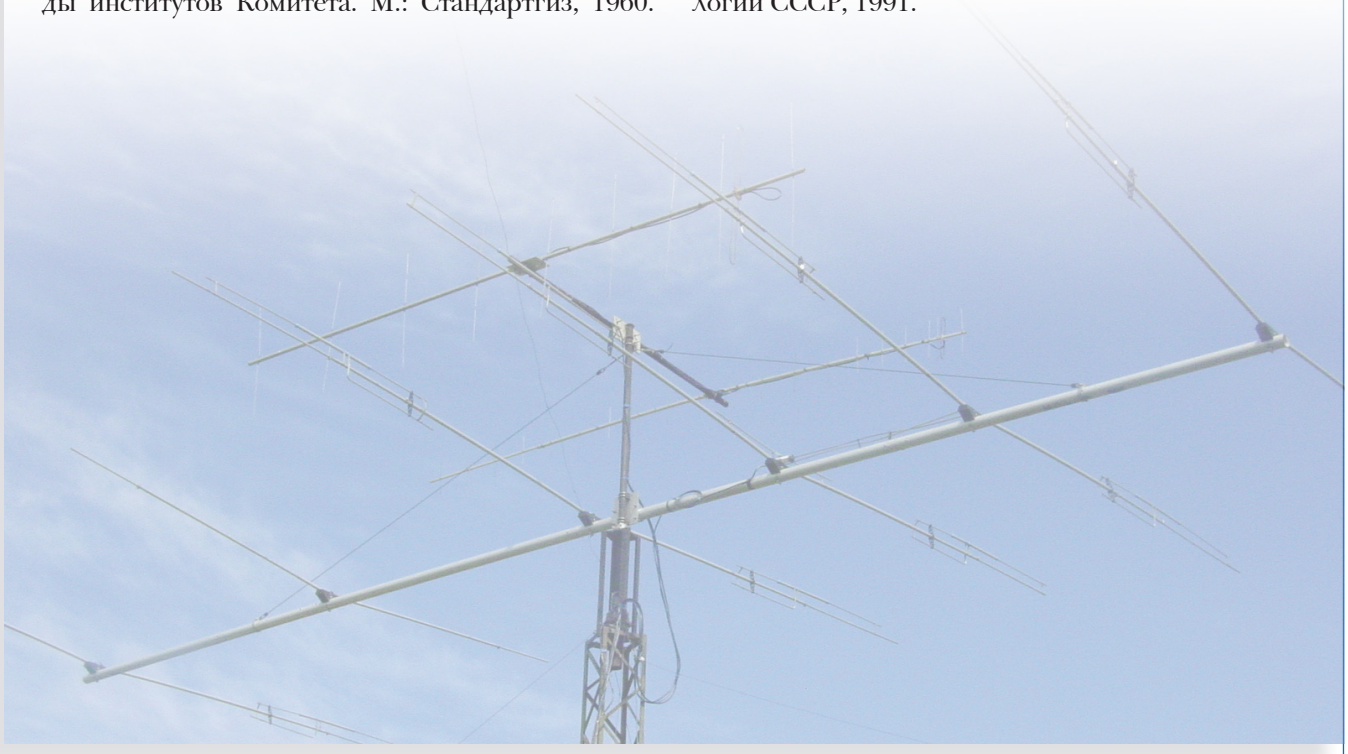


Рис. 2. Зависимость погрешности определения КК разработанного метода трех антенн от частоты

ботанной модели показала, что разработанный метод определения КК рамочных антенн, основанный на применении метода трех антенн, позволяет определять КК рамочных магнитных антенн в широком частотном и динамическом диапазоне с требуемой точностью.

Литература

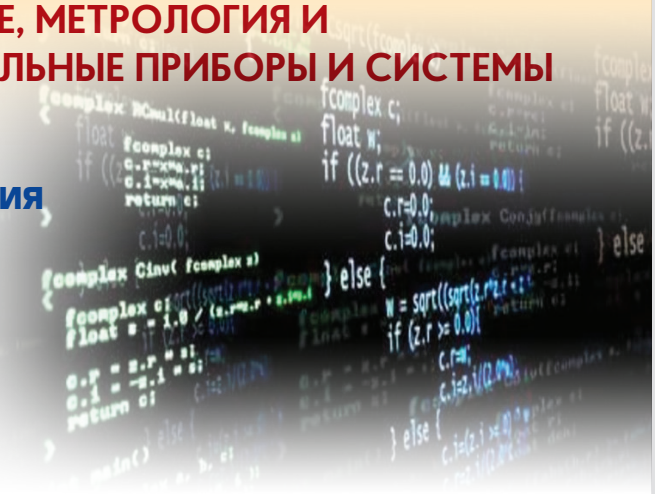
1. ГОСТ CISPR 16-1-4-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-4. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерения излучаемых помех.
2. Hollis J.S., Lyon T.J., Clayton L. Jr. Microwave antenna measurements. Scientific-Atlanta, Inc. Atlanta, Georgia, USA, November 1985, p. 8-2.
3. Ishii M., Fujii K. Loop Antenna Calibration Methods in Low-frequency. EMC'14, Tokyo, 2014. Pp.290-293.
4. Нефедов М.В. Обоснование возможного направления развития рабочих эталонов напряженности магнитного поля на основе адаптированного метода трех антенн// Вестник метролога, 2020. Вып. 7.
5. ГОСТ Р 8.808-2012. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственная поверочная схема для средств измерений напряженности магнитного поля в диапазоне частот от 0,000005 до 1000 МГц. 8 с.
6. Бузинов В.С. Исследование погрешностей метода поверки измерителей напряженности поля в диапазоне частот от 12 кГц до 25 МГц// Труды институтов Комитета. М.: Стандартгиз, 1960. Вып.48(108): Исследование в области радиотехнических измерений. С.139-151.
7. Sen O., Cakir S., Pavlicek T., Hudlicka M., Lundgren U. Traceable loop antenna calibration methods using a VNA. Activity Report. TUBITAK UME, CMI, RISE, 2019.
8. Ishii M., Komiyama K. Estimation of uncertainty of calibration for loop antennas by three-antenna method using automatic network analyzer. 2006 67th ARFTG Conference, 16 June 2006. DOI: 10.1109/ARFTG.2006.4734367.
9. Ishii M., Komiyama K. A Measurement Method for Magnetic Antenna Factor of Small Circular Loop Antenna by 3-Antenna Method. URSI. North American Radio Science Meeting (Columbus), July 2003, pp. 458-464. DOI: 10.1109/CPEM.2004.305450.
10. Scwarzbeck D. Measurements of magnetic and electric fieldstrengths in distances of up to 10 m around transmit loop antennas in the frequency range 9 kHz to 30 MHz. Schwarzbeck, 2014, p.8. URL: http://www.schwarzbeck.de/appnotes (Дата обращения: 20.03.2021 г.)
11. Бузинов В.С. Установка для поверки рамочных ИНП по образцовому полю индукции// Измерительная техника, 1961. №6. С.46-48.
12 Нефедов М.В. Определение коэффициентов калибровки магнитных рамочных антенн методом трех антенн / М.В. Нефедов, К.С. Черняев // Воздушно-космические силы. Теория и практика, 2020. С.56-59.
13. МИ 2083-90. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991.



УДК 629.78

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ СНАРЯЖЕНИЯ В ТРАНСЛЯТОРАХ ДЕТОНАЦИОННЫХ КОМАНД

SOME ASPECTS OF THE INITIATION OF EQUIPMENT IN TRANSLATORS OF DETONATION COMMANDS



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

Андрей Евгеньевич Салько
лауреат Премии правительства РФ в области науки и техники
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального директора по научно-технической политике и межструктурным коммуникациям МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (985) 923-42-09

Владимир Ильич Загарских
кандидат технических наук, доцент
старший научный сотрудник
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (903) 254-68-56
E-mail: zagarskihv@rambler.ru

Евгений Николаевич Кузин
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
старший научный сотрудник
ВА РВСН имени Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
Тел.: 8 (916) 105-48-25
E-mail: varvsn@mil.ru

Аннотация
Статья посвящена рассмотрению вопроса зависимости критического давления инициирования удлиненных зарядов высокобризантных взрывчатых веществ с диаметром снаряжения близким к критическому от толщины и материала оболочки.
Ключевые слова: удлиненный заряд; критический диаметр детонации; критическое давление инициирования; оболочка; инициирующая ударная волна.

Summary
The article is devoted to the question of the dependence of the critical pressure of initiation of elongated charges of high-blasting explosives with a gear diameter close to the critical one on the thickness and material of the shell.
Keywords: extended charge; critical detonation diameter; critical initiation pressure; shell; initiating shock wave.

В современных и перспективных пиромеханических устройствах изделий ракетно-космической техники в качестве средств трансляции команд от блока управления к исполнительным элементам (пиротолкателям, пирорезакам, пирочекам и др.) применяются детонирующие удлиненные заряды (УЗ). Применение УЗ и в этом случае обусловлено тем, что такие заряды практически не чувствительны к действию электростатических и электромагнитных полей, обладают высокой радиационной и термической стойкостью. Экспериментально установлено, что облучение зарядов в металлической оболочке дозами до 10^5 Гр не влияет на их основные взрывчато-технические характеристики. Заметим, что для условий среднего космоса верхним пределом радиационных нагрузок принято считать интегральную поглощенную дозу излучения в пределах 10^2-10^3 Гр, для дальнего космоса эти нагрузки могут находиться в диапазоне 10^3-10^6 Гр.

Важными требованиями, которые предъявляются к пиротехническим устройствам ракетно-космической техники, являются высокая надежность действия при минимальных массовых характеристиках и отсутствии негативных побочных явлениях, которые выражаются в ударно-волновом, осколочном и фугасном действии взрыва при детонации зарядов. Выполнение этих требований, как правило, решается путем снижения массы снаряжения УЗ на единице длины (малым диаметром снаряжения) и

заключением его в неразрушаемый корпус. В свою очередь уменьшение диаметра снаряжения ограничивается наличием у взрывчатых веществ (ВВ) критического диаметра детонации. Для штатных индивидуальных кристаллических бризантных ВВ, применяемых для изготовления УЗ (гексогена, октогена), критические диаметры детонации в зависимости от дисперсности и дефектности кристаллов, плотности заряда, начальной температуры находятся в пределах 0,5÷4,0 мм [1,2]. Нижнее значение критических диаметров характерно для высокодисперсных малоплотных зарядов, а верхнее – для высокоплотных зарядов с размерами частиц более 100 мкм [1]. В связи с этим в УЗ, снаряжаемых кристаллическими ВВ, диаметр снаряжения в 1,0 мм считается минимально допустимым.

Из анализа имеющихся разработок конструкций удлиненных зарядов следует, что наиболее широко используются заряды высокобризантных ВВ в корпусах круглого сечения, выполненных из металла или комбинированного материала (металл+полимер). В качестве снаряжения УЗ применяются как индивидуальные ВВ, так и смесевые составы (эластичные ВВ) в форме шнуров с малым критическим диаметром детонации [1,4,5]. Наличие металлического корпуса обусловлено возможностью изготовления зарядов с высокой плотностью снаряжения, что обеспечивает высокую инициирующую способность трансляторов, а также предохранения их от негативного воздействия внешних вибрационных и ударных нагрузок. Одновременно при наличии у заряда оболочки из материала с импедансом, превышающим импеданс ВВ, критический диаметр детонации уменьшается в 2-3 раза [2], что позволяет изготавливать УЗ с диаметром снаряжения значительно меньше 1,0 мм. Экспериментально установлено, что снижение скорости детонации в цилиндрических зарядах с гексогеновым снаряжением, заключенных в металлическую оболочку, наблюдается лишь при диаметрах менее 1/3 критического, что составляет около 0,3 мм [2,7]. При этом толщина оболочки должна быть такой, чтобы время движения боковых волн разрежения в направлении к оси заряда было бы меньше времени протекания химических реакций в детонационной волне. При невыполнении этого условия инициирование и протекание устойчивой детонационной волны в снаряжении заряда становится проблематичным.

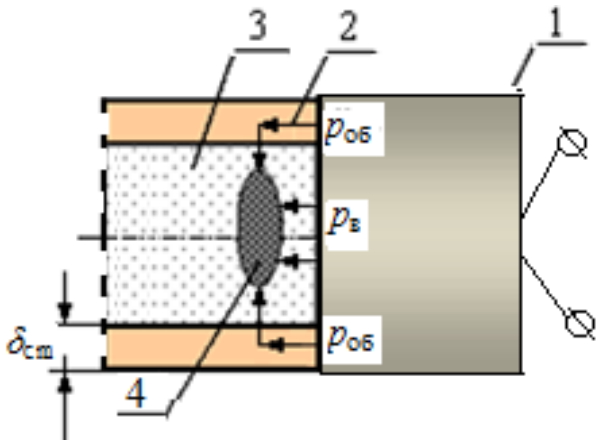


Рис.1. Гипотетическая схема инициирования заряда в оболочке: 1 – инициатор (электродетонатор); 2 - оболочка; 3 – снаряжение заряда; 4 – зона химических реакций

Немаловажным при разработке трансляторов с малым диаметром снаряжения является оценка чувствительности к ударно-волновому импульсу от штатных средств инициирования при торцевой схеме нагружения. В общем случае на условия инициирования оказывает влияния множество различных факторов, поэтому при специфических условиях нагружения (цилиндрической ударной волной, ударом пластин из различных материалов и толщин, неустойчивость и неидеальность инициирования и др.) для оценки чувствительности применяют более десятка критериев [2,3]. В предположении, что инициирование УЗ осуществляется от штатного детонатора, в качестве критерия выберем критическое давление инициирования ($p_{уз}^*$) при допущении, что диаметр очага нагружения превышает критический диаметр детонации.

Физическая модель инициирования УЗ, заключенного в металлический корпус, при ударно-волновом нагружении со стороны открытого торца отличается от инициирования безоболочечных зарядов ВВ. Воздействию одновременно подвергается снаряжение и оболочка. По оболочке начинает распространяться ударная волна и переходить в снаряжение, оказывая на него опережающее действие. Оболочка не столько будет препятствовать проникновению волн разрежения в зону химических реакций, сколько в результате интерференции прямой ($p_в$) и боковой ($p_{об}$) ударных волн способствовать возбуждению детонации в снаряжении УЗ. В этом случае критическое давление инициирования детонации в первом приближении будет определяться равенством

$$p_{уз}^* = p_в + a p_{об}, \qquad (1)$$

где $p_{уз}^*$ – критическое давление инициирования детонации;

$p_в$ – давление, создаваемое в снаряжении УЗ прямой волной сжатия;

$p_{об}$ – давление, создаваемое в снаряжении боковой ударной волной;

a – коэффициент согласования, учитывающий

вклад боковой волны в процесс инициирования.

На *рисунке 1* представлена гипотетическая схема инициирования заряда в оболочке при торцевом нагружении.

В общем случае критическое давление инициирования УЗ будет зависеть от материала оболочки и ее толщины, поскольку длительность времени действия боковой волны на снаряжение находится в прямой зависимости от импеданса материала оболочки и времени движения волны разрежения от свободной поверхности оболочки к оси заряда. Поэтому при малых значениях толщины ($\delta_{ст}$) стенки оболочки влияние давления ($p_{об}$) на критическое давление ($p_{уз}^*$) незначительно. При увеличении толщины оболочки длительность фазы сжатия увеличивается и, если время, необходимое для развития химических реакций в зоне сжатия, будет меньше времени движения продольной и боковой волн разрежения, то в снаряжении произойдет возбуждение детонации. Поэтому, при прочих равных условиях, процесс возбуждения детонации в УЗ должен определяться дополнительным критериальным соотношением

$$d_в/\delta_{см} \le (d_в/\delta_{см})_{кр}, \qquad (2)$$

где $d_в$ – диаметр снаряжения УЗ;
$\delta_{см}$ – толщина стенки оболочки.

На *рисунке 2* представлены результаты экспериментального определения критического давления инициирования детонации в УЗ с гексогеновым снаряжением в зависимости от толщины и материала оболочки.

Как и следовало ожидать, толщина оболочки оказывает существенное влияние на критическое давление инициирования. При этом характер зависимости $p_{уз}^*(\delta_{ст})$ для удлиненных зарядов в медных и алюминиевых оболочках примерно одинаковый. В обоих случаях падение критического давления происходит до некоторого предельного значения толщины стенки (для исследованных УЗ небольшого калибра $\delta_{ст.пр} \approx 0{,}8...1{,}0$ мм для оболочек из меди и $\delta_{ст.ст} \approx 0{,}6$ мм для алюминиевых оболочек). Дальнейшее утолщение стенки не приводит к изменению критического давления инициирования, что вероятно связано с диссипацией энергии боковых волн в результате прихода волны разгрузки в зону химических реакций от свободной поверхности заряда. Так, в первом приближении, время прихода волны разгрузки ($\tau_{бв}$) можно определить как

$$\tau_{бв} = \delta_{см}/c_о, \qquad (3)$$

где $c_о$ – скорость звука в ударно сжатом материале оболочки.

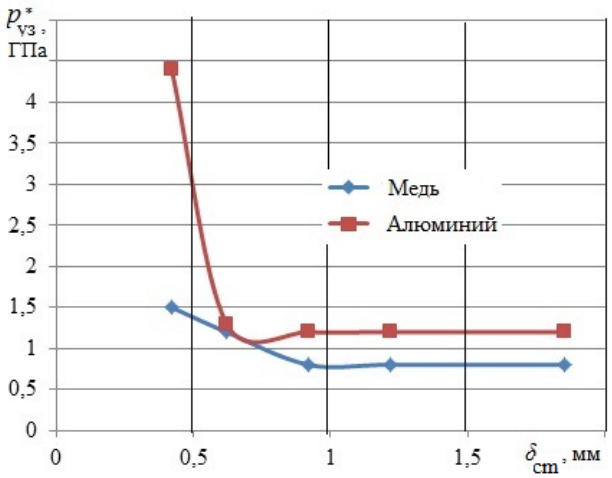


Рис. 2. Зависимость критического давления инициирования УЗ от толщины и материала оболочки

Поэтому, например, для УЗ в медной оболочке это время будет равно $1{,}1 \cdot 10^{-7}$ с, а для УЗ в алюминиевом корпусе с равной толщиной стенки – $8{,}1 \cdot 10^{-8}$с. Очевидно, что с увеличением толщины стенки доля полезно реализуемой энергии боковой волны возрастает, вследствие чего давление $p_в^*$ уменьшается.

Сущность этих явлений состоит в том, что на уменьшение величины критического диаметра заряда в оболочке важную роль оказывают только близлежащие тонкие слои ВВ. Боковая ударная волна прежде всего воздействует на эти слои заряда, поэтому процесс возбуждения детонации в УЗ должен определяться соотношением $d_в/\delta_{см}$. Следовательно, для каждого УЗ существует некоторое предельное отношение $(d_в/\delta_{см})^{пр}$, при котором наступает «насыщение» критического давления инициирования.

В общем случае влияние материала оболочки обусловлено его плотностью и прочностью [2,3,6]. При этом прочностные характеристики материала оболочки не оказывают заметного влияния на критические параметры инициирования, поскольку для таких мощных бризантных ВВ, как гексоген и октоген, используемых в качестве снаряжения удлиненных зарядов, время развития химической реакции составляет доли микросекунды. Роль оболочки связывается прежде всего с ее инерционностью. Поэтому в качестве аргумента, определяющего снижение параметров инициирующей ударной волны (ИУВ) для зарядов, заключенных в металлический корпус, нами предложен параметр ξ, пропорциональный отношению массы оболочки к массе заряда на единице его длины:

$$\xi = (\delta_{см} \times \rho_{об})/(d_з \times \rho_в), \qquad (4)$$

где $\rho_{об}$ – плотность материала оболочки;
$d_з$ – диаметр заряда;
$\rho_в$ – плотность снаряжения.

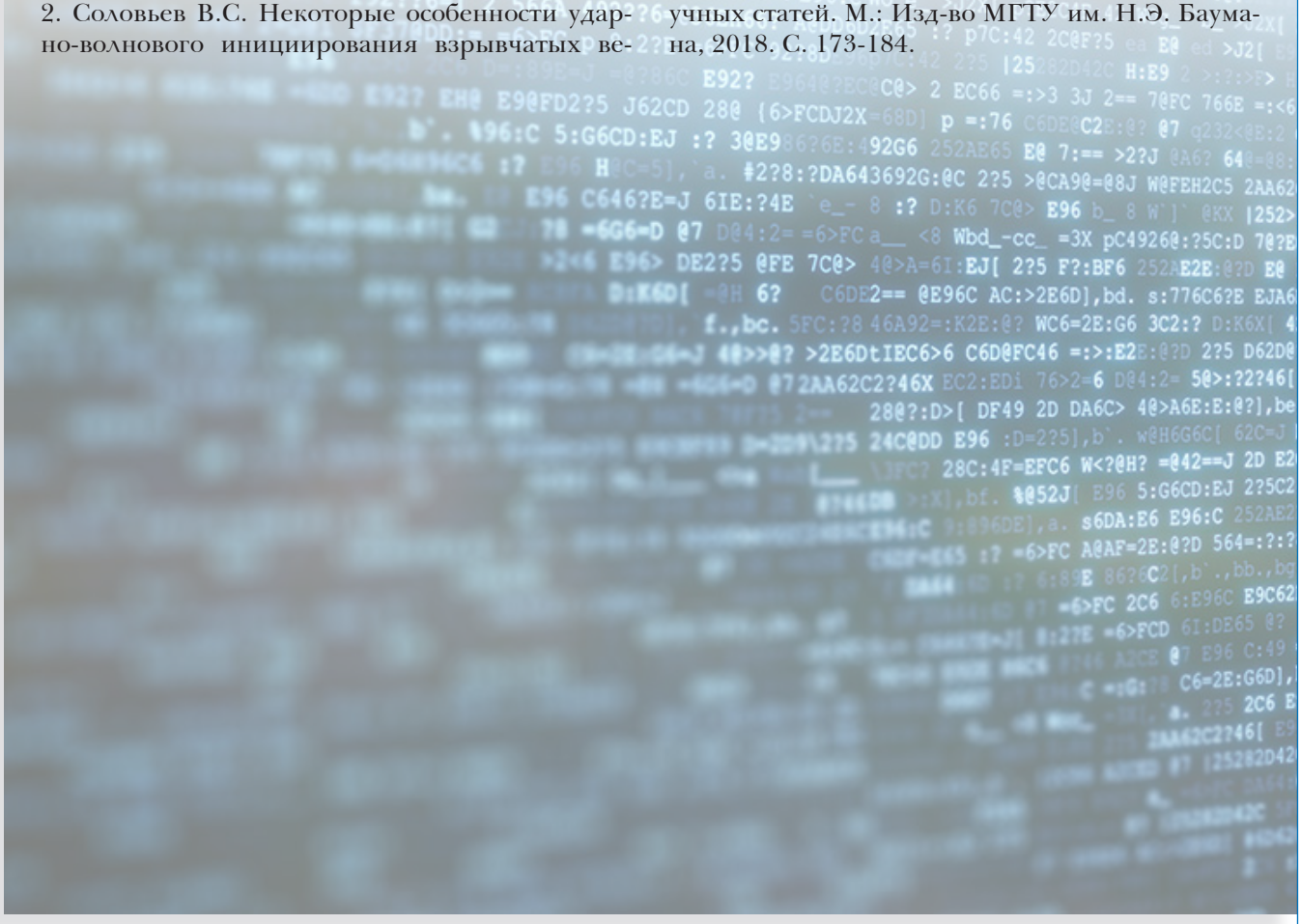
Из (3) следует, что чем выше плотность $\rho_{об}$ материала оболочки заряда, тем интенсивнее

она снижает критические параметры. Однако, здесь же нетрудно видеть, что к снижению параметров ИУВ должно приводить и увеличение толщины δ_{cm} стенки оболочки. Следовательно, и малоплотная, но толстостенная оболочка должна оказывать достаточно эффективное влияние на снижение критических параметров ударной волны, что несколько противоречит сделанным ранее заключениям. Очевидно, что влияние материала и толщины оболочки на условия возбуждения детонации УЗ проявляются совместно.

На основании изложенного выше можно сделать важный вывод. В целях повышения ударно-волновой чувствительности УЗ малого калибра оболочку заряда целесообразно изготавливать из материала с высоким импедансом, например, из меди с толщиной стенки 0,8-1,0 мм. Средство инициирования должно иметь такой диаметр, чтобы ударно-волновому воздействию подвергались снаряжение и оболочка УЗ.

Литература

1. Котомин А.А., Душенок С.А., Козлов А.С.. Эмпирические методы расчета взрывчатых веществ и композиций: монография. СПб: Лань, 2020. 384 с.
2. Соловьев В.С. Некоторые особенности ударно-волнового инициирования взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва, 2000. Т.36. №6. С.65-76.
3. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е перераб. В 2-х т. М.: Физматлит, 2002. 832 с.
4. Ефанов В.В. Проектирование устройств и систем разделения космических аппаратов // Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Под. ред. В.В. Хартова, В.В. Ефанова: В 3-х томах. Т.1. 2-е изд., перераб. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. С. 336-398.
5. Ефанов В.В., Горовцов В.В., Кузин Е.Н., Душенок С.А., Котомин А.А. Неразрушаемый транслятор детонации. Патент России №2633848. 2017. Бюл. №29.
6. Оценка скорости детонации при диаметрах зарядов, близких к критическим / С.Г. Андреев // Актуальные проблемы разработки средств поражения и боеприпасов: сборник научных статей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 7-27.
7. Проявление эффекта ударно-волновой десенсибилизации при возбуждении детонации в тонких слоях взрывчатого вещества высокоскоростными ударниками / И.Ф. Кобылкин, А.В. Петюков // Актуальные проблемы разработки средств поражения и боеприпасов: сборник научных статей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 173-184.



УДК 621.394

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РЕЛЕЕВСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С КОДОВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ ДАННЫХ

STATISTICAL ANALYSIS OF NOISE IMMUNITY AND RELIABILITY OF A DECAMETER-BAND RELAY COMMUNICATION CHANNEL WITH DATA CODE COMPACTION

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

Максим Сергеевич Черноусов
адъюнкт
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (920) 093-65-12
E-mail: chernousovm@mail.ru

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

Борис Михайлович Наконечный
кандидат технических наук
директор
Департамент формирования государственного оборонного заказа
Правительство Российской Федерации

Владислав Владимирович Егоров
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93
E-mail: egorov@iifmail.ru

Антон Викторович Ржаных
кандидат технических наук
преподаватель кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел: 8-905-791-43-10
E-mail: toxa21.85@mail.ru

Акоп Юрьевич Джелаухян
кандидат технических наук
заместитель начальника факультета –
начальник учебной части
факультет Автоматизированных систем управления
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (915) 039-16-99
E-mail: akoprvsn@mail.ru

Аннотация

В статье решена научная задача по определению оптимального значения битового отношения сигнал/шум, при котором обеспечивается максимальное значение помехоустойчивости и надежности релеевского канала связи по помехоустойчивости, предложена структурная схема релеевского радиоканала с кодовым уплотнением данных, обеспечивающая повышенную помехоустойчивость и надежность.

Ключевые слова: надежность радиоканала по помехоустойчивости, медианное и минимальное отношение сигнал/шум в релеевском радиоканале, стационарная помеха, кодовое уплотнение данных, ортогональные последовательности Уолша-Адамара, отношение сигнал помеха, коэффициент расширения спектра сигнала, полярный код.

Summary
The article solves the scientific problem to determine the optimal values of the bit signal-to-noise ratio, which provides maximum noise immunity and reliability of Rayleigh communication channel noise immunity, the proposed structural diagram of Rayleigh channel with a code compactions provide higher noise immunity and reliability.

Keywords: radio channel reliability in terms of noise immunity, median and minimum signal-to-noise ratio in a Rayleigh radio channel, stationary interference, data code compaction, orthogonal Walsh-Hadamard sequences, signal-to-noise ratio, signal spectrum expansion coefficient, polar code.

Постановка задачи

Известно [1], что надежность релеевского канала связи декаметрового диапазона по помехоустойчивости определяется выражением

$$P_{КИД} = e^{-\frac{0,693h^2_{\min}}{h^2_{med}}} \text{ при } P_b = f(h^2_{\min}) = const, \quad (1)$$

где h^2_{min} – отношение сигнал/шум, которое определяет среднюю вероятность битовой ошибки P_b (помехоустойчивость канала связи);

h^2_{med} – медианное битовое отношение сигнал/шум, которое зависит от мощности радиопередатчика $P_{ПД}$, направленных свойств передающей антенны G_A, дальности связи r, параметров поверхности земли и параметров слоев D, E, $F1$, $F2$ ионосферы [1]. Очевидно, при $h^2_{min} = h^2_{med}$ значение $P_{КИД}=0,5$.

Вероятность P_b определяется в общем случае сложной зависимостью [2,3]. При использовании сигнала с относительной фазовой манипуляцией и его когерентного приема в условиях воздействия стационарных помех вероятность P_b равна [2,3]:

$$P_b = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\left(\frac{1}{h^2_{\min}} + \frac{\eta x}{B}\right)^{-0,5}}^{\infty} e^{-t^2} dt, \quad (2)$$

где η – параметр стационарной помехи ($\eta=1$ для узкополосной гармонической помехи, $\eta=0,45$ для заградительной помехи, $\eta=0,66$ для псевдошумовой помехи);

x – отношение мощностей помехи $P_П$ и полезного сигнала P_C ($x=P_П/P_C$);

B – коэффициент расширения спектра полезного сигнала.

При использовании кодового уплотнения данных реализуется когерентный прием сигнала в целом на длительности ортогональной последовательности Уолша-Адамара и вероятность P_b будет определяться выражением

$$P_b = 0,5\left[1 - \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\left(\frac{1}{nh^2_{\min}} + \frac{\eta x}{B}\right)^{-0,5}}^{\infty} e^{-t^2} dt\right]^n\right], \quad (3)$$

где n – длина ортогональной последовательности Уолша-Адамара.

Таблица 1

Значение [$1-РКИД(1-P_b^{ort})$] при $\eta=1$

$h^2_{med}=250$	$n=B=16$	h^2_{min}	0,02	0,334	0,661	3,664	250	1000
	$P_П/P_C=x=0,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$2,1\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,95
	$n=B=32$	h^2_{min}	0,02	0,178	0,36	3,664	250	1000
	$P_П/P_C=x=0,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1,08\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,95
	$n=B=32$	h^2_{min}	0,02	0,196	0,425	3,664	250	1000
	$P_П/P_C=x=1,0$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1,28\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,95
$h^2_{med}=500$	$n=B=16$	h^2_{min}	0,02	0,336	0,698	7,3114	500	10000
	$P_П/P_C=x=0,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1,6\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,99
	$n=16; B=64$	h^2_{min}	0,02	0,35	0,78	7,31	500	10000
	$P_П/P_C=x=2,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1,25\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,99
	$n=16; B=64$	h^2_{min}	0,02	0,322	0,698	7,31	500	10000
	$P_П/P_C=x=1,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1,07\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,99
$h^2_{med}=1000$	$n=B=16$	h^2_{min}	0,02	0,331	0,5754	0,802	1,452	14,59
	$P_П/P_C=x=0,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	10^{-3}	$6,3\cdot10^{-4}$	10^{-3}	10^{-2}
	$n=B=16$	h^2_{min}	0,02	0,4018	1,117	14,59	1000	10000
	$P_П/P_C=x=1,0$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$9,33\cdot10^{-4}$	10^{-2}	0,5	0,99
	$n=B=16$	h^2_{min}	0,02	0,5012	1,514	14,59	1000	10000
	$P_П/P_C=x=1,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1,523\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,99
	$n=B=16$	h^2_{min}	0,02	2,014	3,47	12,023	1000	10000
	$P_П/P_C=x=2,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$5,2\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,99
	$n=16; B=32$	h^2_{min}	0,02	0,4426	3,374	14,59	1000	10000
	$P_П/P_C=x=2,5$	$1-P_{КИД}(1-P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1,182\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,99

Анализ выражений (1) и (3) позволяет выявить противоречивые требования к значению h^2_{min} на входе первой решающей схемы радиоприемника сигналов декаметрового диапазона, а именно:

- с одной стороны, для повышения надежности $P_{КИД}$ релеевского радиоканала значение h^2_{min} необходимо уменьшать (при $h^2_{med}=const$);
- с другой стороны, для повышения достоверности приема данных (повышения помехоустойчивости релеевского радиоканала или уменьшения вероятности P_b^{ort}) необходимо увеличивать h^2_{min} (при $h^2_{med}=const$).

Требуется определить

$$\max_{h^2_{\min}} P_{КИД}\left(1-P_b^{ort}\right) \text{ при } h^2_{med}=f(P_{ПД},G_A,r)=const \quad (4)$$

или

$$\min_{h^2_{\min}} \left[1-P_{КИД}\left(1-P_b^{ort}\right)\right] \text{ при } h^2_{med}=f(P_{ПД},G_A,r)=const \quad (5)$$

Решение задачи выполнено численными методами интегрирования в программной среде Mathcad, а результаты решения представлены в *таблице 1*, где значение $\eta=1$ для наиболее опасной гармонической помехи.

Анализ результатов, представленных в *таблице 1*, позволяет сделать следующие выводы:

- при $h^2_{med}=const$ для заданных значений n, B, $P_П/P_С$ существует оптимальное значение $h^2_{min}=h^2_{opt}$, при котором значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$ минимальное;
- при $n=const$, $B=const$, $P_П/P_С=const$ с увеличением значений h^2_{med} оптимальное значение h^2_{opt} увеличивается и уменьшается соответствующее ему значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$, т.е. радиоканал становится более надежным и достоверность принятых данных повышается;
- при $h^2_{med}=const$ с уменьшением длины n и B при $P_П/P_С=const$ оптимальное значение h^2_{opt} увеличивается и увеличивается вероятность $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$. Например при $h^2_{med}=250$, $n=B=32$, $P_П/P_С=0{,}5$ значение $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=1{,}08\cdot10^{-3}$ и $h^2_{opt}=0{,}36$, а при $h^2_{med}=250$, $n=B=16$, $P_П/P_С=0{,}5$ значение $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=2{,}1\cdot10^{-3}$ и $h^2_{opt}=0{,}661$;
- при $h^2_{med}=const$, $n=const$, $P_П/P_С=const$ увеличение коэффициента расширения спектра B способствует уменьшению h^2_{opt} и уменьшению вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$, что весьма важно для практики (например, при $h^2_{med}=1000$, $n=B=16$, $P_П/P_С=2{,}5$ значение $h^2_{opt}=3{,}47$ и соответственно вероятность $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=5{,}2\cdot10^{-3}$, а при $h^2_{med}=1000$, $n=16$, $B=32$, $P_П/P_С=2{,}5$ значение $h^2_{opt}=1{,}374$ и соответственно вероятность $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=1{,}182\cdot10^{-3}$).

При отсутствии стационарных помех ($P_П/P_С=0$) выражение для вероятности P_b^{ort} будет иметь вид [3]:

$$P_b^{ort}=0{,}5\left[1-\left(1-\frac{1}{\sqrt{\pi}}\int_{\left(\frac{1}{nh^2_{\min}}\right)^{-0{,}5}}^{\infty} e^{-t^2}dt\right)^n\right]. \quad (6)$$

Соответственно, вероятность

$$1-P_{КИД}\left(1-P_b^{ort}\right)=1-e^{-\frac{0{,}693h^2_{\min}}{h^2_{med}}}\left[1-\left[0{,}5\left[1-\left(1-\frac{1}{\sqrt{\pi}}\int_{\left(\frac{1}{nh^2_{\min}}\right)^{-0{,}5}}^{\infty} e^{-t^2}dt\right)^n\right]\right]\right]. \quad (7)$$

В *таблице 2* представлены результаты расчетов значений вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$ по выражению (7).

Анализ результатов, представленных в *таблице 2*, показывает:

Таблица 2

Значения $[1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})]$ при $P_П/P_С=0$

$h^2_{med}=50$; $n=16$	h^2_{min}	0,02	0,151	0,318	0,443	0,73	50	500
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	0,1	10^{-2}	$6{,}78\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,999
$h^2_{med}=250$; $n=16$	h^2_{min}	0,02	0,15	0,288	0,537	3,664	250	1000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	0,1	10^{-2}	$1{,}6\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5	0,999
$h^2_{med}=500$; $n=16$	h^2_{min}	0,02	0,48	0,5998	7,31	500	1000	10000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-3}	$8{,}782\cdot10^{-4}$	10^{-2}	0,5	0,75	0,99
$h^2_{med}=1000$; $n=16$	h^2_{min}	0,02	0,28445	0,4365	0,6427	1,452	14,59	1000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	10^{-3}	$4{,}45\cdot10^{-4}$	10^{-3}	10^{-2}	0,5
$h^2_{med}=5000$; $n=16$	h^2_{min}	0,02	0,28445	0,419	0,708	7,31	73,45	5000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	10^{-3}	$1{,}06\cdot10^{-4}$	10^{-3}	10^{-2}	0,5
$h^2_{med}=500$; $n=8$	h^2_{min}	0,02	0,495	0,955	7,33	500		10000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$1{,}51\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,5		0,99
$h^2_{med}=1000$; $n=8$	h^2_{min}	0,02	0,49	0,861	1,05	1,445		14,662
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	10^{-3}	$7{,}25\cdot10^{-4}$	10^{-3}		10^{-2}
$h^2_{med}=500$; $n=32$	h^2_{min}	0,02	0,162	0,24	0,335	500		10000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	10^{-3}	$4{,}64\cdot10^{-4}$	10^{-3}		10^{-2}
$h^2_{med}=1000$; $n=32$	h^2_{min}	0,02	0,162	0,234	0,31	1,4454		14,662
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	10^{-3}	$2{,}14\cdot10^{-4}$	10^{-3}		10^{-2}

Таблица 3

Значение $[1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b)]=f(h^2_{min})$ при $h^2_{med}=const$

$h^2_{med}=250$	h^2_{min}	0,1	6,62	38,37	250	1000	10000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	$1{,}95\cdot10^{-2}$	0,1	0,5	0,94	0,99
$h^2_{med}=500$	h^2_{min}	0,1	2,25	6,84	76,74	500	1000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	0,1	$1{,}05\cdot10^{-2}$	0,1	0,5	0,9
$h^2_{med}=1000$	h^2_{min}	0,1	5,035	8,035	14,59	153,46	1000
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	10^{-2}	$5{,}88\cdot10^{-3}$	10^{-2}	0,1	0,5
$h^2_{med}=10000$	h^2_{min}	0,1	2,25	5,035	7,66	9,91	14,59
	$1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$	0,5	0,1	10^{-2}	10^{-3}	$7{,}36\cdot10^{-4}$	10^{-3}

● при $h^2_{med}=const$ существует оптимальное значение $h^2_{min}=h^2_{opt}$, обеспечивающее минимальное значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$;

● при увеличении h^2_{med} минимальное значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$ уменьшается, т.е. увеличивается как помехоустойчивость релеевского канала связи, так и его надежность $P_{КИД}$ по помехоустойчивости;

● отклонение значений h^2_{min} от h^2_{opt} как в меньшую, так и в большую сторону вызывает увеличение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$.

Таким образом, установлено, что на входе радиоприемника должна быть использована система автоматической (или ручной) регулировки усиления (АРУ), которая поддерживает уровень принимаемого сигала $U_{ОПТ}$ в окрестности $U_{ОПТ}=\sqrt{h^2_{opt}}$.

При уменьшении длины ортогональной последовательности n вероятность $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$ увеличивается (например, при $n=8$, $h^2_{med}=500$ наименьшее значение указанной вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=1{,}51\cdot10^{-3}$ для $h^2_{opt}=0{,}955$, что значительно хуже, чем для $n=16$).

Увеличение длины n ($n=32$) улучшает показатели релеевского канала связи (при $h^2_{med}=500$ минимальное значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=4{,}64\cdot10^{-4}$ для $h^2_{opt}=0{,}335$, что соответствует символьному отношению $h_0^2=h^2_{opt}\cdot n=0{,}335\cdot32=10{,}72$).

Оценим выигрыш по помехоустойчивости кодового уплотнения данных в релеевском канале связи по сравнению с известным релеевским каналом, использующим сигнал с относительной фазовой манипуляцией (в обоих случаях избыточность данных отсутствует, а помехой является аддитивный белый гауссовский шум). Тогда вероятность битовой ошибки $P_b^{ОФТ}$ равна [2]:

$$P_b^{ОФТ}=e^{-h^2_{\min}}\left(1-0{,}5e^{-h^2_{\min}}\right), \qquad (8)$$

а критерием для сравнения будет выступать выражение $\min\limits_{h^2_{\min}}\left[1-P_{КИД}\left(1-P_b^{ОФТ}\right)\right]$ при

$$h^2_{med}=f(P_{ПД},G_A,r)=const. \qquad (9)$$

Результаты расчетов по выражению (9) приведены в *таблице 3*.

Сравнительная оценка результатов, представленных в *таблицах 2* и *3*, показывает:

● кодовое уплотнение данных позволяет значительно улучшить показатели релеевского канала связи (например, при $h^2_{med}=500$, $n=16$ кодовое уплотнение данных обеспечивает наименьшее значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=8{,}782\cdot10^{-4}$ для $h^2_{opt}=0{,}5998$, а в радиоканале без кодового уплотнения данных при $h^2_{med}=500$ наименьшее значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=1{,}05\cdot10^{-2}$ для $h^2_{opt}=6{,}84$);

● кодовое уплотнение данных позволяет работать (обеспечивать высокую надежность) при битовых отношениях сигнал/шум $h^2_{min}\le1$ (0 дБ), а вероятность $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_6)\le10^{-2}$ при $h^2_{med}=const$;

● увеличение длины ортогональной последовательности n способствует улучшению параметров релеевского канала связи ($h^2_{med}=500$, $n=32$ вероятность $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})=4{,}64\cdot10^{-4}$, а требуемое $h^2_{opt}=0{,}335$, что соответствует символьному $h_0^2=0{,}335*32=10{,}72$).

Для нахождения оптимального значения $h^2_{min}=h^2_{opt}$, обеспечивающего минимальное значение вероятности $1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b^{ort})$, исследуем на экстремум выражение (9). Для чего определим его производную по h^2_{min} и приравняем ее нулю:

$$\frac{d\left[1-P_{КИД}\left(1-P_b\right)\right]}{dh^2_{\min}}=\frac{0{,}693}{h^2_{med}}e^{-\frac{0{,}693h^2_{\min}}{h^2_{med}}}- \qquad (10)$$

$$-\left(\frac{0{,}693}{h^2_{med}}+1\right)e^{-\frac{0{,}693h^2_{\min}}{h^2_{med}}-h^2_{\min}}+\left(\frac{0{,}693}{2h^2_{med}}+1\right)e^{-\frac{0{,}693h^2_{\min}}{h^2_{med}}-2h^2_{\min}}=0$$

При этом получим выражение для h^2_{opt}

$$h^2_{opt}=-\ln\left[\frac{\frac{0{,}693}{h^2_{med}}+1\pm\sqrt{1-\frac{1{,}386}{h^2_{med}}-\frac{0{,}480249}{h^2_{med}}}}{\frac{0{,}693}{h^2_{med}}+2}\right]. \qquad (11)$$

Задавая значение h^2_{med} и подставив полученное h^2_{opt} в выражение (9), получим два значения вероятности $[1\text{-}P_{КИД}(1\text{-}P_b)]$:

h^2_{med}=250	1-$P_{КИД}$(1-P_b)	h^2_{opt1}=1,389·10^{-3}	h^2_{opt2}=5,888
		0,5	1,89·10^{-2}
h^2_{med}=500	1-$P_{КИД}$(1-P_b)	h^2_{opt1}=6,937·10^{-4}	h^2_{opt2}=6,581
		0,5	1,045·10^{-2}
h^2_{med}=1000	1-$P_{КИД}$(1-P_b)	h^2_{opt1}=3,467·10^{-4}	h^2_{opt2}=7,274
		0,5	5,718·10^{-3}
h^2_{med}=5000	1-$P_{КИД}$(1-P_b)	h^2_{opt1}=6,931·10^{-5}	h^2_{opt2}=8,884
		0,5	1,369·10^{-3}

Первое значение h^2_{opt1} определяет вероятность 1-$P_{КИД}$(1-P_b)=0,5 и для практической связи не представляет интереса, а второе значение h^2_{opt2} весьма важное, так как определяет минимум вероятности 1-$P_{КИД}$(1-P_b), т.е. наибольшие значения вероятностей $P_{КИД}$ и (1-P_b) при фиксированных значениях h^2_{med}.

Полученные результаты позволяют предложить структурную схему релеевского радиоканала связи с кодовым уплотнением данных (*рисунок 1*) [3,4].

На передающей стороне двоичные данные в последовательном коде поступают на информационный вход n-разрядного регистра сдвига RG_1, на второй вход которого подаются тактовые импульсы от генератора $ГТИ_1$. Параллельный n-разрядный двоичный код с выхода RG_1 подается на формирователь многоуровнего группового сигнала (*ФГС*), на вторые входы которого подаются ортогональные двоичные последовательности Уолша-Адамара $Wal_i(t)$ [5]. Выходной сигнал ФГС проходит через полосовой фильтр (ПФ), который формирует модулирующий сигнал в заданной полосе частот для первого фазового модулятора ($ФМ_1$), на второй вход которого подается гармонический сигнал несущей частоты генератора G. Выходной сигнал $ФМ_1$ поступает на первый вход второго фазового модулятора $ФМ_2$, на второй вход которого подается сигнал от генератора псевдослучайной последовательности ($ГПСП_1$), который формирует двоичную B-разрядную последовательность. Если $B=n$, то расширения спектра сигнала на выходе $ФМ_2$ нет, при $B>n$ происходит расширение спектра выходного сигала $ФМ_2$ в B/n раз.

В радиолинии на сформированный $ФМ_2$ двоичный фазоманипулированный сигнал действуют аддитивные помехи $n(t)$.

На приемной стороне аддитивная смесь сигнал+помеха+шум поступает на вход блока поиска и синхронизации сигнала (*БПС*) и вход измерителя отношения сигнал/шум (*ИОСШ*). *ИОСШ* управляет регулятором уровня задержки (*РУЗ*), который формирует напряжение задержки $U_{ОПТ}=\sqrt{h^2_{opt}}$ для работы схемы автоматической регулировки усиления (*АРУ*) сигнала, кото-

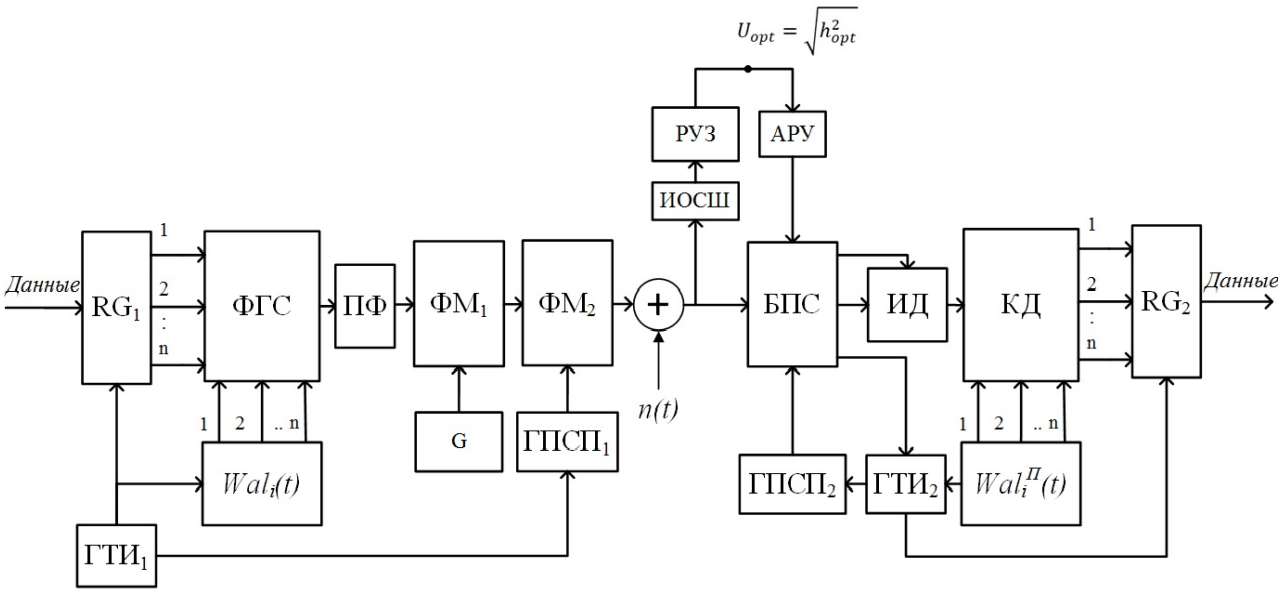


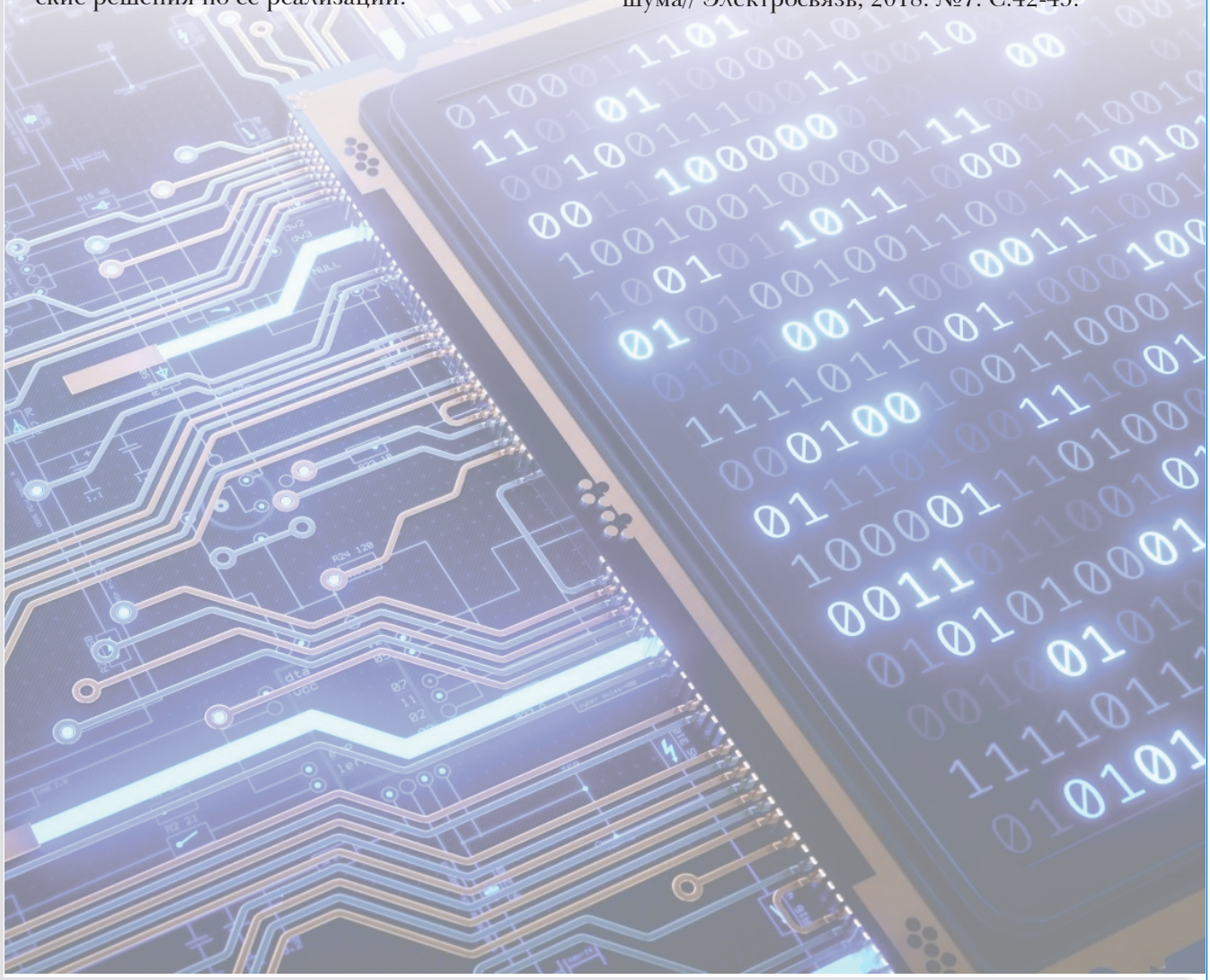
Рис. 1. Структурная схема релеевского радиоканала связи с кодовым уплотнением данных

рая управляет *БПС* по введению в синхронизм приемных $ГТИ_2$ и $ГПСП_2$ и информационного демодулятора (*ИД*). Выходной многоуровневый сигнал *ИД* поступает на первый вход корреляционного декодера (*КД*), который осуществляет когерентный прием многоуровневого сигнала в целом на длительности n-разрядных ортогональных посылок $Wal_i^{П}(t)$, которые поступают от формирователя двоичных последовательностей Уолша-Адамара в полярном коде $Wal_i^{П}(t)$ на вторые входы *КД* [4,5]. Выходные двоичные символы *КД* в параллельном двоичном n-разрядном коде поступают на входы RG_2, где под действием тактовых импульсов $ГТИ_2$ преобразуются в двоичную последовательность данных для получателя сообщения.

Таким образом, впервые решена задача повышения помехоустойчивости и надежности релеевского радиоканала декаметрового диапазона в пределах теоретической границы К.Шеннона в условиях воздействия преднамеренных и непреднамеренных помех и предложены технические решения по ее реализации.

Литература

1. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. М.: Связь, 1965. 400с.
2. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е., Шестопалов В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью/ Под ред. В.И. Борисова. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Радиософт, 2011. 550 с.
3. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский А.В., Черноусов М.С. Метод оценки помехоустойчивости цифровых систем передачи с кодовым уплотнением данных при воздействии стационарных помех// Известия Института инженерной физики, 2020. №4(58). С.31-36.
4. Патент на изобретение №2714606. Система передачи данных ортогональными сигналами. Зеленевский В.В., Джелаухян А.Ю., Зеленевский Ю.В. Дата рег. 18.02.2020г.
5. Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Зеленевский А.В., Дурнов А.С. Статистические характеристики системы передачи с кодовым уплотнением данных при воздействии гауссова шума// Электросвязь, 2018. №7. С.42-45.



УДК: 621.37

ВЫБОР И АДАПТАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

SELECTION AND ADAPTATION OF A STATISTICAL CRITERION FOR SOLVING PROBLEMS OF IDENTIFICATION OF RADIO EMISSION SOURCES

Олег Игоревич Атакищев
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального директора
по специальным проектам
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
E-mail: aoi007@mail.ru

Анатолий Иванович Мухин
кандидат технических наук
преподаватель 55 кафедры
ВКА имени А.Ф.Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13

Дмитрий Павлович Павленко
преподаватель 55 кафедры
ВКА имени А.Ф.Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13

Федор Николаевич Свистунов
преподаватель 55 кафедры
ВКА имени А.Ф.Можайского
Адрес: 197198, Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, д. 13

Аннотация
В статье предложено решение актуальной задачи идентификации источников радиоизлучений. Решение заключается в выборе и адаптации статистического критерия, позволяющего на основании результатов измерений и эталонных значений принимать или отвергать гипотезу о взаимосвязи совокупностей. Представленная апробация непараметрического статистического критерия хи-квадрат Пирсона подтверждает выдвинутые теоретические предположения практической реализацией.
Ключевые слова: источники радиоизлучения, идентификация источников радиоизлучения, статистический критерий, таблица сопряженности, обеспечение безопасного движения.

Summary
The article proposes a solution to the actual system for identifying radio emission sources. The decision lies in the selection and adaptation of a statistical criterion that allows, on the basis of the measurement results and reference ones, to accept or reject the hypothesis about the relationship of populations. The presented testing of the nonparametric statistical Pearson chi-square test confirms the put forward theoretical assumptions of practical implementation.
Keywords: Sources of radio emission, identification of radio emission sources, statistical criterion, contingency table, ensuring safe traffic.

Введение

Задача идентификации источников радиоизлучений (ИРИ) весьма актуальна, в частности, для обеспечения безопасного движения морского и воздушного транспорта. По совокупности идентифицированных ИРИ появляется возможность идентифицировать те объекты, на которых эти ИРИ установлены.

Современные транспортные средства оснащаются разнообразными радиоэлектронными средствами (РЭС), например, AIS и ADS-B-транспондерами, навигационными приборами, радиолокаторами, радиомаяками, средствами телефонии и т.п. Однако до сих пор идентификация морского и воздушного транспорта происходит только за счет приема сигналов AIS и ADS-B-транспондеров, в то время как другие радиоизлучения бортовых РЭС остаются без внимания. В случае отказа AIS и ADS-B-аппаратуры, идентификация объекта не представляется возможной, информация по объекту не заносится в базу данных и он не отображается на электронной Интернет-карте, что создает предпосылки к возникновению столкновений.

Результативная идентификация объектов по радиоотпечатку возможна только при приеме и анализе всех бортовых ИРИ.

Альтернативный способ мониторинга судов для обеспечения безопасного мореплавания при отсутствии радиоизлучений от AIS-транспондеров, был подробно рассмотрен в [1].

Анализ возможности применения статистических критериев

Под *идентификацией ИРИ* в данной статье понимается процесс сравнения результатов измерения (РИ) параметров сигналов с эталонными значениями (ЭЗ) для принятия или опровержения гипотезы о соответствии РИ и ЭЗ, решение о соответствии (или несоответствии) принимается на основе принятого правила.

В данной статье предлагается выбрать некое правило (критерий) и адаптировать его для решения задач идентификации источников радиоизлучений.

Для идентификации ИРИ могут быть использованы следующие параметры (признаки) радиосигнала:

- ширина спектра сигнала Δf;
- длительность импульса τ;
- период следования импульсов T;
- несущая частота $f_н$.

Также может использоваться информация о местоположении объекта: значения широты (Ш) и долготы (Д).

Для сравнения РИ с ЭЗ нагляднее всего использовать *таблицу 1*.

Стоит обратить внимание на тот факт, что использование коэффициента корреляции (КК) для сравнения РИ с ЭЗ не совсем корректно, так как КК не позволяет:

- дать ответ на вопрос, соответствует ли РИ ЭЗ или нет;
- задавать необходимый уровень значимости (допустимую вероятность ошибки первого рода);
- адекватно выставлять оценку при наличии в признаках выдающихся значений (это утверждение будет рассмотрено ниже по тексту, в апробации).

Поэтому, для идентификации ИРИ необходимо выбрать более тонкие инструменты анализа, лишенные недостатков КК.

Такие инструменты существуют и называются статистическими критериями. Разработаны как параметрические, так и непараметрические статистические критерии, отличие которых заключается в том, что в одном случае известны параметры генеральной совокупности, а в другом – нет [2,3].

К наиболее известным параметрическим критериям относятся:

- критерий Стьюдента (или t-критерий);
- критерий Фишера (или f-критерий).

К наиболее известным непараметрическим критериям относятся:

- U-критерий Манна-Уитни;
- критерий хи-квадрат Пирсона.

Несмотря не многообразие статистических критериев, этапы проверки гипотез одинаковые:

- вначале формируется нулевая гипотеза H_0, то есть предположение о том, что две выборки взяты из одной генеральной совокупности. Также формируется альтернативная гипотеза H_1, которая предполагает обратное;
- задается определенный уровень значимости;
- по формуле рассчитывается проверяемое значение, которое потом сравнивается с табличным критическим значением, взятым с учетом уровня значимости и числа степеней свободы. Если рассчитанное значение меньше критического, то принимается нулевая гипотеза.

Проверяемое значение, рассчитанное по критерию Стьюдента, вычисляется следующим образом [3]:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1}{n_1} - \frac{\sigma_2}{n_2}}}, \quad (1)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – средние арифметические значения двух выборок;

σ_1 и σ_2– средние квадратичные отклонения выборок;

n_1 и n_2 – объем выборок.

Число степеней свободы для критерия Стьюдента вычисляется по формуле [3]:

$$v = n - k, \quad (2)$$

где k – число признаков, которые исследуются в выборке.

Таблица 1

Сравнение РИ с ЭЗ

	Широта	Долгота	Ширина спектра	Длительность импульса	Период следования импульсов	Несущая частота
РИ	$\overline{Ш}_{РИ}$	$\overline{Д}_{РИ}$	$\Delta\bar{f}_{РИ}$	$\bar{\tau}_{РИ}$	$\bar{T}_{РИ}$	$\bar{f}_{н_РИ}$
ЭЗ	$Ш_э$	$Д_э$	$\Delta f_э$	$T_э$	$T_э$	$f_{н_э}$

Проверяемое значение, рассчитанное по критерию Фишера, вычисляется следующим образом [3]:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \text{ при } \sigma_1 > \sigma_2 . \quad (3)$$

U-критерий Манна-Уитни используется для оценки различий между двумя независимыми выборками по уровню какого-либо признака, измеренного количественно. В РИ признак может появляться, а может и не появиться.

Проверяемое значение, рассчитанное по U-критерию Манна-Уитни, вычисляется следующим образом [3]:

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1 \cdot (n_1 + 1)}{2} - R_1 ,$$
$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2 \cdot (n_2 + 1)}{2} - R_2 , \quad (4)$$
$$U = \min\{U_1, U_2\}$$

где R_1 и R_2 – сумма признаков, пришедшихся на долю первой и второй выборки.

Проверяемое значение, рассчитанное по критерию хи-квадрат Пирсона, вычисляется следующим образом [4]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} , \quad (5)$$

где i – номер строки (от 1 до r);

j – номер столбца (от 1 до c);

O_{ij} – фактическое количество наблюдений в ячейке ij;

E_{ij} – ожидаемое число наблюдений в ячейке ij.

Непараметрический критерий хи-квадрат Пирсона в настоящее время эффективно применяется при анализе как четырехпольных, так и многопольных таблиц сопряженности, содержащих сведения о частоте исходов в зависимости от наличия фактора риска.

При анализе формируется две таблицы, в первую вносится фактическое количество наблюдений (*таблица 2*), во вторую – результаты расчета ожидаемых значений (*таблица 3*).

Расчет степеней свободы для многопольных таблиц сопряженности осуществляется следующим образом [4]:

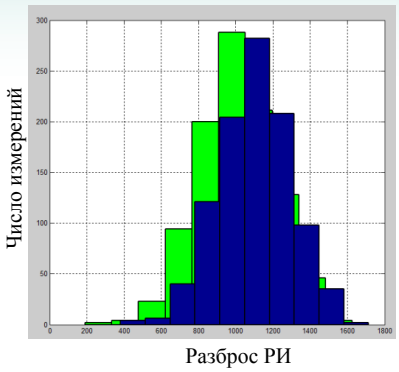


Рис. 1. Две выборки, содержащие в себе РИ одного параметра ИРИ

$$v=(r-1)(c-1). \quad (6)$$

Параметрические статистические критерии идеально подходят для случаев, когда необходимо сравнить две выборки, содержащие в себе РИ одного параметра ИРИ (*рисунок 1*).

Когда необходимо сравнивать несколько параметров ИРИ, то применять параметрические критерии нецелесообразно. Для этих целей рациональней всего использовать непараметрические критерии.

Проведенный в рамках данной статьи анализ показал, что для сравнения РИ с ЭЗ при условии наличия *полной совокупности признаков* в таблицах сопряженности, идеальней всего подходит критерий хи-квадрат Пирсона, а при наличии *неполной совокупности признаков* – U-критерий Манна-Уитни.

Апробация непараметрического статистического критерия хи-квадрат Пирсона для решения задач идентификации источников радиоизлучения

Для апробации выбранного критерия хи-квадрат Пирсона введем в качестве исходных данных значения РИ и ЭЗ в таблицу. Такие значения называются фактическим количеством наблюдений (*таблица 4*).

Таблица 2

Фактическое количество наблюдений

	Исход есть (1)	Исхода нет (0)	**Всего**
Фактор риска есть (1)	A	B	**A+B**
Фактора риска нет (0)	C	D	**C+D**
Всего	**A+C**	**B+D**	**A+B+C+D**

Таблица 3

Результаты расчета ожидаемых значений

	Исход есть (1)	Исхода нет (0)	**Всего**
Фактор риска есть (1)	(A+B)*(A+C) / (A+B+C+D)	(A+B)*(A+C) / (A+B+C+D)	**A+B**
Фактора риска нет (0)	(C+D)*(A+C) / (A+B+C+D)	(C+D)*(B+D) / (A+B+C+D)	**C+D**
Всего	**A+C**	**B+D**	**A+B+C+D**

Расчет ожидаемых значений представлен в *таблице 5*.

Перейдем к расчету проверяемого значения хи-квадрат Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{(10-10{,}6)^2}{10{,}6} + \frac{(15-16{,}15)^2}{16{,}15} + \frac{(100-103{,}48)^2}{103{,}48} + \frac{(5-6{,}05)^2}{10{,}6} + \frac{(110-106)^2}{106} + \frac{(1024-1021{,}7)^2}{1021{,}7} + \frac{(11-10{,}39)^2}{10{,}39} + \frac{(17-15{,}85)^2}{15{,}84} + \frac{(105-101{,}51)^2}{101{,}5} + \frac{(7-5{,}94)^2}{5{,}94} + \frac{(100-103{,}9)^2}{103{,}9} + \frac{(1000-1002{,}3)^2}{1002{,}3} = 1{,}16$$

Рассчитаем число степеней свободы:

$r=2$, $c=6$, $v_{2x6}=(r-1)\cdot(c-1)=(2-1)\cdot(6-1)=5$.

При уровне значимости $\alpha=0{,}05$ и $v=5$, табличное критическое значение хи-квадрат Пирсона составляет $\chi^2=1{,}14$ [2].

Как видно, 1,16>1,14, следовательно, отвергается нулевая гипотеза, т.е. отвергается предположение о том, что результаты измерения соответствуют эталонному значению, в то время, как коэффициент корреляции, посчитанный по значениям, взятым из *таблицы 4*, составляет 0,99.

В результате анализа выявлено, что в некоторых случаях КК дает ошибочное представление о степени взаимосвязи двух величин. Это происходит из-за того, что в выборках могут присутствовать выдающиеся значения, значительно превышающие значения большинства признаков. В нашем случае выдающимися значениями являются: 1024 и 1000.

Заключение

В статье рассмотрена актуальная задача идентификации ИРИ, решение которой позволит обеспечить безопасное движение морского и воздушного транспорта. Результативная идентификация объектов по радиоотпечатку возможна только при приеме и анализе всех бортовых РЭС. Для идентификации ИРИ признаками являются параметры сигналов.

В рамках данной статьи выбран и адаптирован статистический непараметрический критерий хи-квадрат Пирсона, позволяющий сравнивать РИ с ЭЗ с заданным уровнем значимости. При анализе таблиц сопряженности, критерий хи-квадрат Пирсона является более чувствительным инструментом по сравнению с коэффициентом корреляции, так как КК обладает рядом недостатков.

В статье представлена апробация выбранного критерия, подтверждающая теоретические предположения практической реализацией.

Литература

1. Мухин А.И., Пучкова И.А., Коптев Д.С. Альтернативный способ мониторинга судов для обеспечения безопасного мореплавания при отсутствии радиоизлучений от AIS-транспондеров// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Научный журнал, 2019. Т.9. №2. С.22-34.
2.Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Юнит, 2006. 573 с.
3. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1975. 600 с.
4. http://www.medstatistic.ru/theory/hi_kvadrat.html

Таблица 4

Фактическое количество наблюдений

	Ш	Д	Ширина спектра	Длительность импульса	Период следования импульсов	Несущая частота	Сумма
РИ	10	15	100	5	110	1024	**1264**
ЭЗ	11	17	105	7	100	1000	**1240**
Сумма	**21**	**32**	**205**	**12**	**210**	**2024**	**2504**

Таблица 5

Расчет ожидаемых значений

	Ш	Д	Ширина спектра	Длительность импульса	Период следования импульсов	Несущая частота	Сумма
РИ	$\frac{1264\cdot21}{2504}=$ 10,6	$\frac{1264\cdot32}{2504}=$ 16,15	$\frac{1264\cdot205}{2504}=$ 103,48	$\frac{1264\cdot12}{2504}=$ 6,05	$\frac{1264\cdot210}{2504}=$ 106	$\frac{1264\cdot224}{2504}=$ 1021,7	**1264**
ЭЗ	$\frac{1240\cdot21}{2504}=$ 10,39	$\frac{1240\cdot21}{2504}=$ 15,84	$\frac{1240\cdot21}{2504}=$ 101,51	$\frac{1240\cdot21}{2504}=$ 5,94	$\frac{1240\cdot21}{2504}=$ 103,99	$\frac{1240\cdot21}{2504}=$ 1002,3	**1240**
Сумма	**21**	**32**	**205**	**12**	**210**	**2024**	**2504**

УДК 629.396.966

ДЕСТРУКТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СРЕДУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА В ИНФОРМАЦИОННЫХ РАДИОКАНАЛАХ

DESTRUCTIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT OF SIGNAL PROPAGATION IN INFORMATION RADIO CHANNELS

Юрий Митрофанович Перунов
доктор технических наук, профессор
генеральный конструктор средств РЭБ
главный научный сотрудник
Институт динамики геосфер РАН
Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, д. 38, к. 1
Тел.: 8 (495) 939-79-89
Email: geospheres@idg.chph.ru

Владимир Григорьевич Дмитриев
кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
Институт динамики геосфер РАН
Адрес: 119334, Москва, Ленинский проспект, д. 38, к. 1
Тел.: 8 (495) 939-79-89
Email: geospheres@idg.chph.ru

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Адрес: 125993, Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Тел.: 499 (158) 43-33
Email: aik@mai.ru

Аннотация
Рассматривается действие нагревных стендов на ионосферу и влияние этих воздействий на условия работы радиоэлектронных систем.
Ключевые слова: ионосфера, нагревный стенд, радиоэлектронные системы.

Summary
Action high power stands on an ionosphere and influence of these influences on working conditions of radio-electronic systems is considered.
Keywords: ionosphere, high power stand, radio-electronic systems.

Радиоэлектронная борьба постоянно совершенствует методы и расширяет возможности в информационном конфликтном взаимодействии с радиоэлектронными средствами противника. Одно из таких направлений деятельности – деструктивное воздействие на среду распространения информационных радиоканалов. Именно свойства среды распространения радиоволн определяют основные характеристики информационных каналов. Такие характеристики, как поглощающие, рефракционные, поляризационные и рассеивающие (дисперсионные) свойства. В результате деструктивного воздействия на среду ухудшаются, вплоть до катастрофической деформации, основные показатели эффективности информационных каналов. В особенности контрастно такие ухудшения сказываются на широкополосных сигналах, все более широко применяемых современными информационными радиосистемами.

Деструктивные влияния на сигнальную среду предусматривают, прежде всего, высокоэнер-

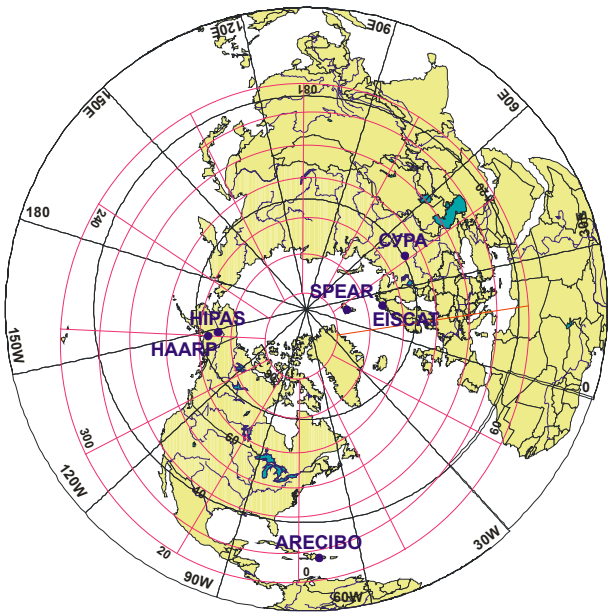


Рис.1. Расположение нагревных стендов

гетические воздействия на ионосферу (применение воздействий на тропосферные каналы, например, рассеянием дипольных отражателей, здесь не рассматривается). Такое воздействие на магнитосферно-ионосферную среду с использованием мощных радиоизлучений осуществляется нагревными стендами.

В настоящее время в мире имеются следующие нагревные стенды: СУРА (Россия, г. Васильсурск), EISCAT, SPEAR (Норвегия, г. Тромсе и о. Шпицберген), HIPAS, HAARP (США, Аляска) и ARECIBO (Пуэрто-Рико) [1].

Расположение нагревных стендов приведено на *рисунке 1*, где черным показаны географические, а красным геомагнитные координаты местоположения размещения стендов.

В *таблице 1* представлены основные технические характеристики указанных стендов, а на *рисунке 2* зависимость эффективной мощности излучения от значения рабочей частоты излучения воздействия на ионосферу.

Как видно из сравнительных параметров имеющихся в мире нагревных стендов, стенд HAARP (*рисунок 3*), который введен на полную проектную мощность в 2007 году, имеет уникальные технические характеристики по мощности, полосе частот излучения, быстродействию (единицы микросекунд изменения режимов работы перестройки рабочей частоты, видов модуляции и положения в пространстве главного лепестка диаграммы направленности активной ФАР), что дает возможность проведение фундаментальных и прикладных исследований по разработки технологий использования управляемых геофизических процессов в интересах гражданского и, особенно, главного приоритета военного назначения.

Приоритеты военного назначения стенда HAARP были сформулированы в меморандуме 1994 года Правительства США Конгрессу по поводу необходимости дальнейшего строительства стенда HAARP, где определено главное назначение стенда – дальнейшее развитие системы C^3I (Communications, Command, Control and Intelligence), обеспечивающей военное превосходство над другими странами мира. Новые военные технологии, разрабатываемые на стенде HAARP, обеспечивают повышение эффективности системы C^3I во всех направлениях, а именно связи, управления, контроля и разведки вооруженных сил наземного, морского, воздушного и космического базирования. При этом, как отмечается в меморандуме, стенд должен решать следующие основные задачи:

- обеспечение сверхдальней связи генерацией сигналов в ОНЧ диапазоне длин волн с наземными и подводными объектами;
- обеспечение сверхдальней связи в КВ диапазоне длин волн путем использования волновода F_1 и F_2 ионосферных слоев;

Таблица 1

Основные характеристики нагревных стендов

Стенды Характеристики	Arecibo (Puerto Rico)	HIPAS Alaska (USA)	HAARP Alaska (USA)	EISCAT Tromsø (Norway)	СУРА (Россия)	SPEAR Spitsbergen (Norway)
Географические координаты	18.3 N	64.87 N	62.39 N	69.59 N	56.15 N	78.9 N
	66.8 W	146.83 W	145.15 W	19.22 E	46.118 E	16.4 E
Геомагнитные координаты	29 N	65.25 N	63.06 N	66.11 N	52.32 N	76.05 N
	5.5 E	266.16 E	269.17 E	103.37 E	120.01 E	112.81 E
Частота волны накачки, МГц	3.175;	2.85	2.8-10	4-8	4.5-9.3	(2-3)
	5.1; 8.175			5.5-8		4-6
Излучаемая мощность, МВт	0.5	1.0	3.6	1.2	0.75	0.19
Эффективная излучаемая мощность, МВт	80	84	3900	300	150-285	22 (3.9 МГц) 42 (5.6 МГц)
Ширина диаграммы направленности антенны на уровне 3 дБ, град	5-10	32×45 (2.8 МГц); 11×15 (8.1 МГц)	15 (3 МГц) 5 (10 МГц)	6 (5.5–8 МГц); 29 (3.85-5.65; 5.5–8 МГц)	10-5	21×14,2 (3.9 МГц) 15.2×10.2 (5.6 МГц)

● генерацию циклотронных частот для синхронного резонансного воздействия и повышения энергии электронов, вращающихся вокруг магнитных силовых линий ионосферы и магнитосферы, в целях создания аномальных высокоэнергетических зон для воздействия на техногенные космические объекты;

● формирование многочастотных сигналов на гармониках основной частоты излучения стенда как элемента бистатической локации для обнаружения и определения местоположения воздушно-космических объектов, а также передачи команд управления одновременно на нескольких частотах в КВ и УКВ диапазонах длин волн;

● создание активных помех стратегической связи в ОНЧ, КНЧ и КВ диапазонах длин волн;

● генерации электромагнитных сигналов на биологически активных частотах.

Оценка возможностей стенда HAARP основывается на следующих данных.

1. Высокий уровень мощности излучения стенда (0.75-3.6 ГВт) обеспечивает возможность управления геофизическими процессами в ионосфере и управляемого вторичного излучения ионосферы. Реализация так называемой геометрической модуляции, методом сканирования с необходимой частотой главным лепестком диаграммы направленности ФАР в пределах до плюс/минус 30° от вертикали позволяет формировать активный эффективно излучающий на частоте сканирования виртуальный диполь с вибраторами длинной десятки километров в определенной плоскости возбужденной ионосферы. При этом быстродействие управления по угловым координатам положения главного лепестка диаграммы направленности (частота сканирования) обеспечивает с высокой эффективностью излучение на частотах от единиц до сотен герц, что позволяет организовать сверхдальнюю связь с подводными и подземными объектами. Имеются сведения, что получены практические

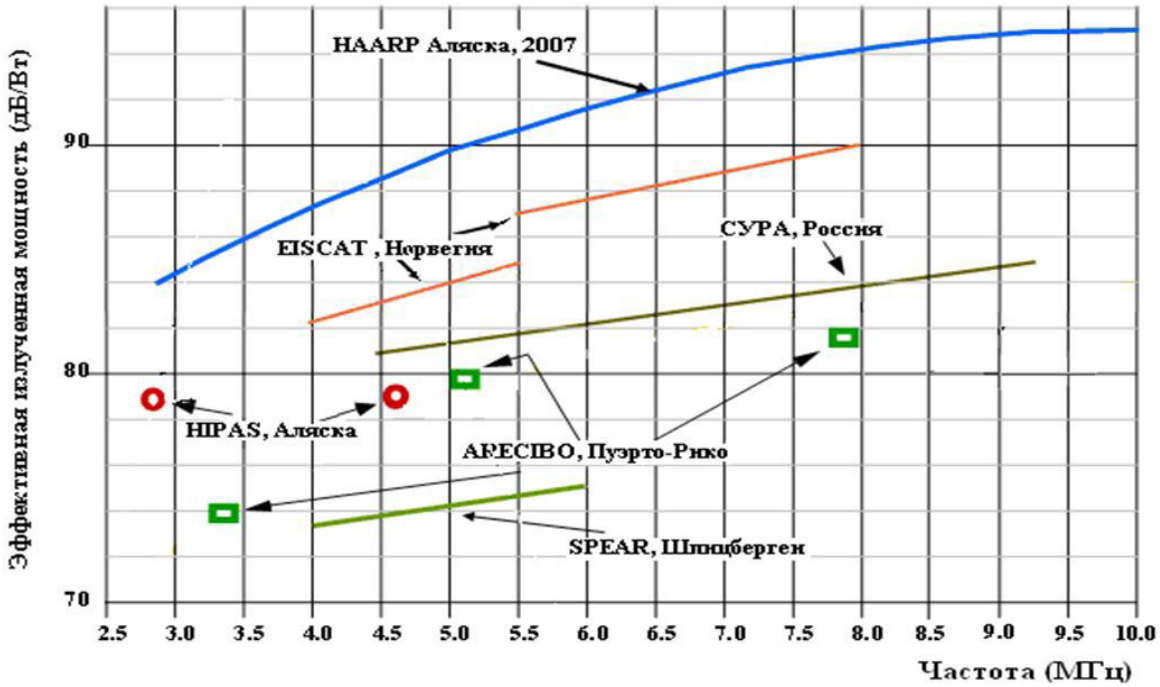


Рис. 2. Сравнительные характеристики нагревных стендов

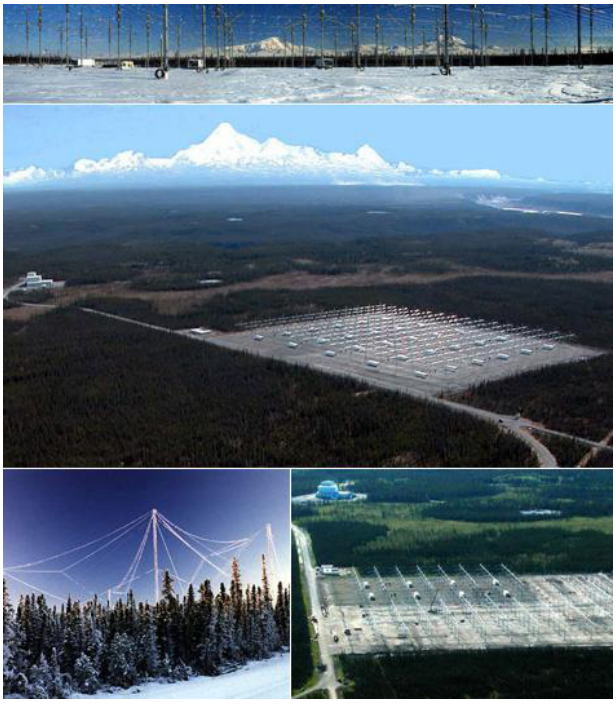


Рис. 3. Нагревный стенд HAARP на Аляске

результаты мощности излучения в герцовом диапазоне более 5000 Вт и организации связи с подводными лодками на глубинах 50-100 м на дальности 5000-7000 км.

Очевидно, что выявление оптимальных режимов работы стенда дадут возможность повышения характеристик такой связи.

2. Формирование в ионосфере на высотах слоев F_1 и F_2 аномальной зоны мощным излучением стенда обеспечивает направленный ввод в волновод этих слоев электромагнитных волн, отличных от частоты излучения стенда, и передача их на значительные расстояния с малыми потерями. Для приема сигналов необходимо сформировать аналогичное зеркало в месте приема этих сигналов.

В апреле 2006 года по заказу США были проведены совместные исследования с использованием нагревных комплексов HAARP и СУРА по сверхдальнему распространению радиоволн. В результате экспериментально подтверждены теоретические предположения о возможности использования ионосферного волновода, образованного при воздействии на ионосферу нагревными комплексами, для распространения КВ и УКВ радиосигналов станций на расстояние более 7000 км (Аляска – Нижний Новгород – Ростов-на-Дону). В процессе эксперимента стенд HAARP, излучая на частоте порядка 4.2 МГц, сформировал зеркало в ионосфере, с помощью которого был ретранслирован в ионосферный волновод сигналы передатчика SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network) на частоте 14.3 МГц. Стенд СУРА сформировал аналогичное зеркало при возбуждении ионосферы на частоте 4.4 МГц, с помощью которого из волновода ионосферных слоев сигналы передатчика SuperDARN были ретранслированы в подионосферное пространство, а затем приняты наземной приемной аппаратурой в г. Ростов-на-Дону.

На *рисунке 4* показана схема прохождения сигнала передатчика.

3. Генерация стендом HAARP резонансных циклотронных частот приводит к возбуждению свободных электронов, вращающихся вокруг магнитных силовых линий Земли, и таким образом создает аномальные зоны высокой энергии электронов – квазимазеров. Технология создания таких аномалий решается путем сопряжения по касательной главного лепестка ФАР стенда к конкретно выбранной силовой магнитной линии Земли и излучения стендом резонансных циклотронных электромагнитных волн.

Рисунок 5 иллюстрирует процесс формирования высокоэнергетического электромагнитного излучения стендом HAARP.

Оценки показывают, что в этих условиях уровень энергии электронов может быть повышен на несколько порядков до десятков МэВ. Изменение пространственного положения главного лепестка диаграммы направленности ФАР стенда HAARP в направлении других магнитных силовых линий позволяет формировать некоторую высокоэнергетическую вертикальную плоскость с высотами от 100 до 1000 и более километров и шириной несколько десятков километров. Прохождение такой энергетической аномалии техногенным космическим объектом с высокой степенью вероятности может привести к формированию мощного электромагнитного импульса и функциональному поражению электронной аппаратуры этого объекта.

Так как область энергетической аномалии возбужденных электронов зависит от пространственного положения главного лепестка диаграммы направленности ФАР стенда, то принципиально возможна пространственная селекция поражаемых космических объектов в зависимости от параметров траекторий их полета. Развитие и совершенствования технологий режима

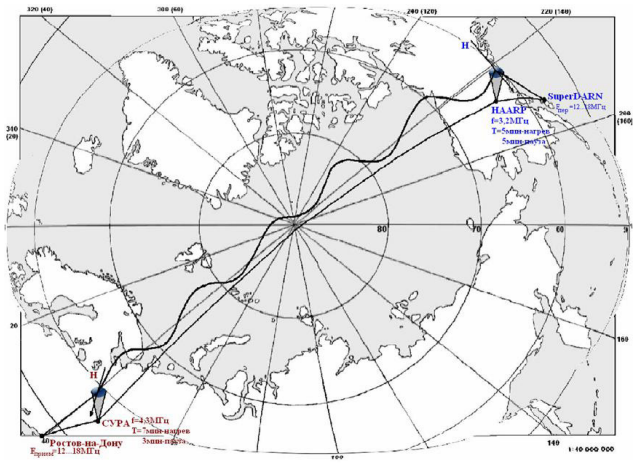


Рис. 4. Схема сверхдальней связи (локации)

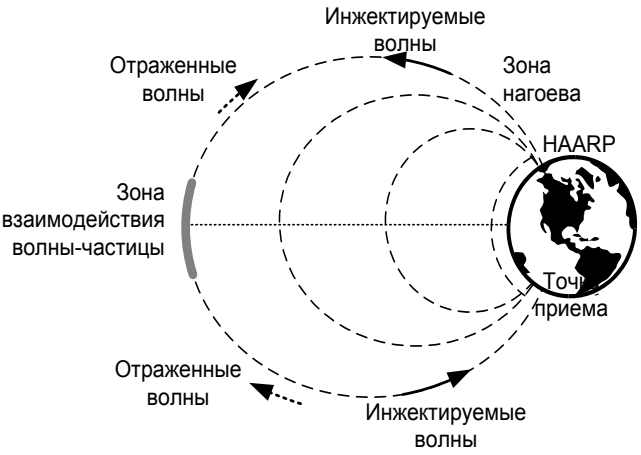


Рис. 5. Генерация сигналов на циклотронной частоте.

резонансного воздействия на свободные электроны ионосферы и магнитосферы определяет создание противокосмического и противоракетного оружия с использованием управляемых геофизических процессов техногенного воздействия на ионосферу.

4. Высокая мощность излучения стенда HAARP и специальные режимы модуляции несущих частот обуславливают возможность высокоэффективного вторичного излучения возбужденной ионосферы на гармониках основной рабочей частоты. Имеющиеся материалы экспериментальных исследований на стенде HAARP показывают реализацию управляемого вторичного излучения ионосферы до 53-57 гармоники основной несущей частоты стенда. Такой режим управления вторичным излучением возбуждаемой ионосферы позволяет формировать многочастотное сигнальное поле, которое может быть использовано для подавления систем связи, боевого управления, командных радиолиний. Прежде всего – в северной части Антлантического и западной части Ледовитого океанов.

5. Возможность управления геофизическими процессами в условиях воздействия на ионосферу мощным электромагнитным излучением и инициирование вторичного излучения на частотах в герцовом диапазоне частот определяют высокую вероятность реализации излучения на биологически активных частотах, негативно влияющих на состояние высокоорганизованных живых организмов и, особенно, человека. Исследования показали, что поля в крайне низкочастотном (КНЧ) (10-300 Гц) и сверхнизкочастотном (СНЧ) (0-10 Гц) диапазонах обладают сильным воздействием на биологические объекты. Слабое затухание этих волн позволяет им распространяться на значительные расстояния. Применения методов геометрической модуляции и формирования в ионосфере виртуальной дипольной антенны обеспечивают эффективное преобразование мощности несущей частоты стенда во вторичное излучение на биологически активных частотах. Имеются достоверные сведения о проведенных экспериментах, в которых достигнуты уровни мощности вторичного излучения ионосферы в герцовом диапазоне частот до 5000 Вт, а виртуальная дипольная антенна в ионосфере обеспечивала направленное вторичное излучение на генерируемых частотах.

Таким образом, анализ имеющихся материалов и проведенные оценки технических возможностей стенда HAARP позволяют с достаточной степенью достоверности делать вывод о создании на нагревном стенде технологий управления геофизическими процессами ионосферы в условиях воздействия мощным электромагнитным излучением, что может привести к созданию геофизического оружия многофункционального применения.

Стенды EISCAT, SPEAR (Норвегия, г. Тромсе и о. Шпицберген), в настоящий момент официально работают по исследовательским международным научным программам, направления которых в определенной степени совпадают с исследованиями, проводимыми на стенде HAARP. Это прежде всего определение условий и режимов управления геофизическими процессами ионосферы, условий образования вторичного излучения ионосферы в ОНЧ и КНЧ диапазонах, ракурсного рассеивания и др.

Все нагревные стенды, исключая ARECIBO, расположены практически на одном меридиане (*рисунок 1*), что принципиально позволяет реализовать условия синхронных режимов работы стендов для решения задач деструктивного воздействия на ионосферу. Прежде всего – формирование помех РЭС, создание высокоэнергетических зон в ионосфере и магнитосфере и источников вторичного излучения на частотах многофункционального применения, а также многочастного радиолокационного пространственно распределенного поля контроля и обнаружения воздушно-космических объектов.

Оценки имеющихся данных показывают, что диапазон рабочих частот обнаружения, идентификации и анализа сигналов стендов и вторичного излучения возбужденной ионосферы составляет от 0 до 200 МГц. В условиях большого числа сигналов радиостанций представляет значительные технические проблемы и трудности реализации высокой степени вероятности обнаружения и идентификации сигналов стендов и вторичного излучения ионосферы, что потребует создание новых технологий, алгоритмов анализа и обработки информации и специального комплекса приемной аппаратуры.

Литература

1. Дмитриев В.Г., Земский Ю.А., Перунов Ю.М. Состояние средств мощного электромагнитного воздействия на ионосферу и направления применения управляемых геофизических процессов в военных целях // Радиотехника и электроника, 2014. Т.6. №2. С.129-169.
2. Пашинцев В.П. и др. Влияние ионосферы на характеристики космических систем передачи информации. М.: Физматлит, 2006. 184 с.

УДК 621.3.018.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИСКАНИЯ НА КАЧЕСТВО УСЛУГ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ С НЕЗАКРЕПЛЕННЫМИ КАНАЛАМИ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОДОСТУПНОСТИ И НЕОРДИНАРНОСТИ ТРАФИКА

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SEARCHING DISCIPLINE ON THE QUALITY OF COMMUNICATION SERVICES IN SYSTEMS WITH LOOSE CHANNELS OPERATING IN CONDITIONS OF INACCESSIBILITY AND UNUSUAL TRAFFIC WITH LOOSE CHANNELS

Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки 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.:+7 (985) 141-79-09
E-mail: tsimbalva@mail.ru

Денис Александрович Людоговский
младший научный сотрудник
ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 143900, Московская обл.,
г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8
E-mail: lulex1@yandex.ru

Аннотация
Рассматривается система связи с незакрепленными каналами, функционирующая в условиях неполнодоступности и неординарности трафика. При этом исследуется влияние порядка предоставления свободных каналов – дисциплина искания на качество обслуживания вызовов разнородных абонентов. С этой целью предложены математические модели парциальной линейки каналов для случаев ее полно- и неполнодоступности.
Ключевые слова: система связи с незакрепленными каналами, неполнодоступная коммутационная схема, неординарный трафик, дисциплина искания.

Summary
A communication system with unsecured channels operating in conditions of incomplete availability and non-standard traffic is considered. At the same time the influence of the order of providing free channels, the discipline of searching on the quality of service for calls of heterogeneous subscribers is investigated. For this purpose mathematical models of the partial line of channels are proposed for cases of its full and incomplete accessibility.
Keywords: communication system with unsecured channels, incomplete switching scheme, unusual traffic, searching discipline.

В настоящее время наиболее перспективным направлением построения систем и сетей связи (СС) для территориально рассредоточенных абонентов с низкой информационной нагрузкой (сотовая, транкинговая, спутниковая и т.д.) является использование принципа незакрепленных каналов (НК), что позволяет решить задачу уменьшения емкости используемого коммуникационного ресурса при заданном качестве обслуживания, оцениваемом вероятностью отказа в обслуживании поступающих вызовов – $P_{отк}$ [1,2]. При этом такие системы относятся к классу систем распределения информации с отказами, которые обслуживают потоки как ординарных, так и неординарных вызовов, и для которых коммуникационный ресурс представляет собой совокупность парциальных частотных (кодовых, частотно-кодовых) линеек, разделенных, в свою очередь, на временные окна – каналы [3].

Кроме того, с целью равномерности распределения информационной нагрузки между данными временными каналами в интересах разнородных абонентов такие системы зачастую строятся по принципу неполнодоступных коммуникационных схем (НКС), что в ряде случаев приводит и негативным последствиям, выражающимся в возникновении эффекта «чересполосицы», когда в составе парциальных линеек си-

стемы в целом количество свободных каналов может быть достаточно значительным, однако они не могут быть использованы для информационного обмена, в первую очередь, неординарного трафика, поскольку часть коммуникационного ресурса таких линеек становится недоступным, что приводит к отказам в обслуживании заявок, снижению реализованной пропускной способности и неэффективному использованию всей системы связи в целом [4].

Известно [1, 5], что в отличие от полнодоступных коммутационных схем (ПКС) для НКС значительное влияние на качество обслуживания вызовов оказывает используемый порядок выделения незанятого коммуникационного ресурса – дисциплина искания. В этой связи разрешение вышеуказанного практического противоречия возможно, в том числе, путем поиска и реализации такой дисциплины искания, которая в условиях неполнодоступности коммуникационного ресурса будет обеспечивать наименьшую вероятность отказа в обслуживании поступающего неординарного трафика пользователей, что требует построения математических моделей различных вариантов предоставления каналов парциальной линейки СС с НК, а также оценке достигаемого при этом качества обслуживания абонентов.

Данное обстоятельство требует, в свою очередь, построения математических моделей двух типов. Во-первых, «эталонной» модели, позволяющей оценить $P_{отк}$ в обслуживании поступающих вызовов для идеализированных условий функционирования парциальной линейки – ее полнодоступности и неординарности трафика. Полученные для такой модели характеристики качества обслуживания, будут являться наилучшими (оптимальными), которые возможно достичь применительно к заданным условиям функционирования СС с НК, а также неким ориентиром (эталоном), к которому следует стремиться при формировании различных вариантов дисциплины искания. Во-вторых, математической модели реальной системы, являющейся обобщением «эталонной» для случая неполнодоступности ресурса парциальной линейки, неординарности поступающего трафика и возможности реализации различных дисциплин искания. При этом очевидно, что наилучшей (рациональной) дисциплиной искания будет являться та, реализация которой обеспечит минимальное и наиболее близкое к «эталонной» модели значение $P_{отк}$.

Для построения «эталонной» модели будем использовать следующие обозначения и условия:

- парциальная линейка представляет собой ПКС емкостью $V=8$ каналов (временных окон);
- на вход системы поступают ординарные и неординарные потоки вызовов от трех групп источников ($i=\overline{1,3}$) с параметрами: N_i – количество источников, входящих в i-ую группу (при этом множества источников вызовов не пересекаются – $N_1 \cap N_2 \cap N_3 = \varnothing$, а общее число абонентов системы N конечно); λ_i – интенсивность поступления вызовов от одного свободного источника i-ой группы; r_i – норма неординарности потока вызовов от источника i-ой группы ($r_1=1$, $r_2=2$, $r_3=4$);
- μ_i – интенсивность обслуживания вызовов источников i-ой группы (при этом длительность обслуживания вызовов подчинена показательному закону);
- порядок предоставления свободных каналов (дисциплина искания) – произвольный (равновероятно предоставляется любой из свободных каналов);
- дисциплина обслуживания – с потерями (если число свободных каналов в момент поступления заявки на r_i каналов меньше r_i, то такая заявка на ресурс емкостью r_i получает отказ, не влияя на ход будущих событий).

Рассматриваемый поток вызовов от каждого множества N_i источников является примитивным, т.е. его параметр прямо пропорционален числу свободных в данный момент источников – $\Lambda_i = (N_i - x_i)\,\lambda_i$, где x_i ($0 \le x_i \le V/r_i$) – количество источников i-ой группы, находящихся в системе на обслуживании (при этом имеет место интуитивно понятное утверждение о формировании потока вызовов только свободными абонентами, т.к. занятый источник, находясь на обслуживании, не может производить вызовы).

Функционирование такой системы имеет характер случайного процесса, который может находиться в каком-либо j-том состоянии $S_j\{x_1,x_2,x_3\}$, характеризующимся количеством абонентов i-ой группы, находящихся в системе на обслуживании ($S_j \in S$). При этом, поскольку каждая i-ая группа источников характеризуется соответствующей нормой неординарности r_i, то для каждого состояния системы может быть определено и число занятых каналов парциальной линейки, как

$$V_{зан} = \sum_{i=1}^{3} x_i r_i .$$

Таким образом, если в любой произвольно взятый момент времени t известно число занятых каналов и источников вызовов, то процесс изменения состояний системы после момента t в вероятностном смысле не зависит от течения процесса до этого момента, т.е. такой процесс является марковским с конечным числом состояний [2].

Граф состояний-переходов «эталонной» модели СС с НК представлен на *рисунке 1*.

При этом 8-ми канальная ПКС может находиться в одном из следующих 35-ти состояний:

$S_0\{0, 0, 0\}$ – система свободна – количество абонентов, находящихся на обслуживании: 1-й группы – $x_1=0$; 2-й группы – $x_2=0$; 3-й группы – $x_3=0$ (число свободных каналов – 8, занятых – 0);

$S_1\{1, 0, 0\}$ – количество абонентов, находящихся на обслуживании: 1-й группы – $x_1=1$; 2-й группы – $x_2=0$; 3-й группы – $x_3=0$ (число свободных каналов – 7, занятых – 1);

$S_2\{0, 0, 1\}$ – количество абонентов, находящихся на обслуживании: 1-й группы – $x_1=0$; 2-й группы – $x_2=0$; 3-й группы – $x_3=1$ (число свободных каналов – 4, занятых – 4);

$S_3\{0, 1, 0\}$ – количество абонентов, находящихся на обслуживании: 1-й группы – $x_1=0$; 2-й группы – $x_2=1$; 3-й группы – $x_3=0$ (число свободных каналов – 6, занятых – 2);

. . .

$S_{34}\{8, 0, 0\}$ – количество абонентов, находящихся на обслуживании: 1-й группы – $x_1=8$; 2-й группы – $x_2=0$; 3-й группы – $x_3=0$ (число свободных каналов – 0, занятых – 8).

Для определения вероятностей нахождения системы в j-том состоянии – $P_j(t)(j=\overline{0,34})$ составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова, которая для стационарного режима была сведена к системе линейных алгебраических уравнений и решена численно методом обратных матриц при следующих исходных данных (*таблица 1*).

При этом в соответствии с семантикой модели вероятности отказа в обслуживании абонентов i-ой группы могут быть определены как сумма вероятностей нахождения системы в тех состояниях, в которых абоненты соответствующей группы получают отказ – $S_{отк}$:

$$P_{отк\text{-}1} = P_7+P_{15}+P_{20}+P_{23}+P_{25}+P_{28}+P_{31}+P_{33}+P_{34};$$

$$P_{отк\text{-}2} = P_7+P_{15}+P_{20}+P_{23}+P_{25}+P_{28}+P_{31}+P_{33}+P_{34}+P_{13}+P_{18}+P_{22}+P_{27}+P_{30}+P_{32};$$

$$P_{отк\text{-}3} = P_7+P_{15}+P_{20}+P_{23}+P_{25}+P_{28}+P_{31}+P_{33}+P_{34}+P_{13}+P_{18}+P_{22}+P_{27}+P_{30}+P_{32}+P_5+P_8+P_{11}+P_{14}+P_{16}+P_{19}+P_{21}+P_{24}+P_{26}+P_{29}.$$

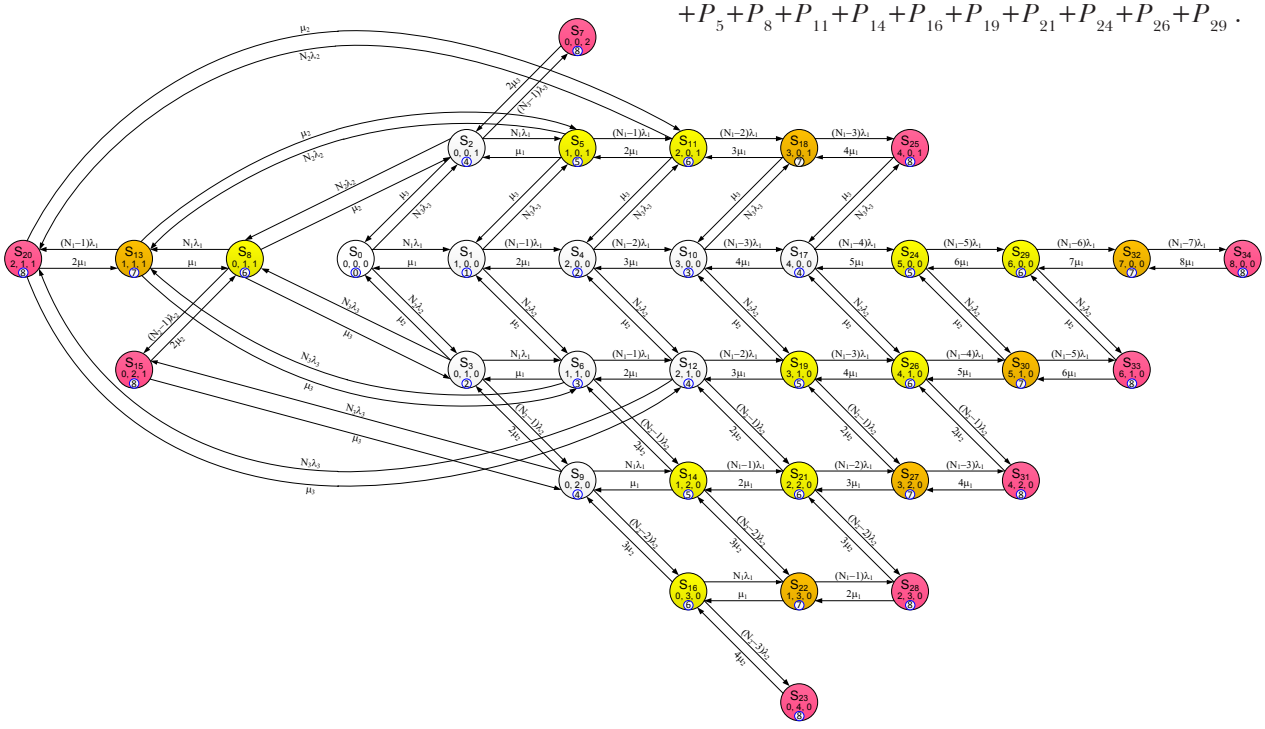


Рис. 1. Граф состояний-переходов полнодоступной парциальной линейки системы связи с незакрепленными каналами

Таблица 1

Номер группы абонентов	Количество абонентов в группе	Норма неординарности	Параметры потока вызовов		Параметры потока обслуживания	
			Ср. интервал между выз., с	Интенсивность вызовов, 1/с	Ср. длительн. выз., с	Интенсивность обслуж., 1/с
1	$N_1=8$	$r_1=1$	$\overline{T}_1=1000\div100$	$\lambda_1=0{,}001\div0{,}01$	$\overline{\theta}_1=20$	$\mu_1=0{,}05$
2	$N_2=6$	$r_2=2$	$\overline{T}_2=18000\div1800$	$\lambda_2=5{,}6x10^{-5}\div5{,}6x10^{-4}$	$\overline{\theta}_2=180$	$\mu_2=0{,}006$
3	$N_3=6$	$r_3=4$	$\overline{T}_3=6000\div600$	$\lambda_3=1{,}7x10^{-4}\div1{,}7x10^{-3}$	$\overline{\theta}_3=60$	$\mu_3=0{,}017$

Обобщенная вероятность отказа в обслуживании (потерь по вызовам) определяется как отношение параметра потока потерянных вызовов к параметру потока поступивших:

$$P_{отк}=\frac{\Lambda_{отк}}{\Lambda_{пост}}=\frac{\sum\limits_{S_j\{x_1,x_2,x_3\}\in S_{отк}}\Lambda_{S_j\{x_1,x_2,x_3\}}P_{S_j\{x_1,x_2,x_3\}}}{\sum\limits_{S_j\{x_1,x_2,x_3\}\in S}\Lambda_{S_j\{x_1,x_2,x_3\}}P_{S_j\{x_1,x_2,x_3\}}},$$

где

$$\Lambda_{S_j\{x_1,x_2,x_3\}}=\sum_{i=1}^{3}\Lambda_i=\sum_{i=1}^{3}(N_i-x_i)\lambda_i$$ –

параметр потока вызовов от всего множества N абонентов системы при ее нахождении в j-том состоянии $S_j\{x_1,x_2,x_3\}$ (для потока поступивших вызовов – по всему множеству состояний – S; для потока потерянных вызовов – по множеству состояний, в которых вызов не будет обслужен – $S_{отк}$).

$$P_{отк}=\frac{\lambda_1\left[N_1(P_7+P_{15}+P_{23})+(N_1-2)(P_{20}+P_{28})+\right.}{\lambda_1\left[N_1(P_0+P_2+P_3+P_7+P_8+P_9+P_{15}+P_{16}+P_{23})+(N_1-1)(P_1+P_5+P_6+\right.}$$
$$\frac{+(N_1-4)(P_{25}+P_{31})+(N_1-6)P_{33}+}{+P_{13}+P_{14}+P_{22})+(N_1-2)(P_4+P_{11}+P_{12}+P_{20}+P_{21}+P_{28})+(N_1-3)(P_{10}+P_{18}+}$$
$$\frac{+(N_1-8)P_{34}\right]+}{+P_{19}+P_{27})+(N_1-4)(P_{17}+P_{25}+P_{26}+P_{31})+(N_1-5)(P_{24}+P_{30})+}$$
$$\frac{+\lambda_2\left[N_2(P_7+P_{18}+P_{25}+P_{32}+P_{34})+\right.}{+(N_1-6)(P_{29}+P_{33})+(N_1-7)P_{32}+(N_1-8)P_{34}\right]+\lambda_2\left[N_2(P_0+P_1+P_2+P_4+P_5+\right.}$$
$$\frac{+(N_2-1)(P_{20}+P_{30}+P_{33})+(N_2-2)(P_{15}+P_{27}+P_{31})+}{+P_7+P_{10}+P_{11}+P_{17}+P_{18}+P_{24}+P_{25}+P_{29}+P_{32}+P_{34})+(N_2-1)(P_3+P_6+P_8+P_{12}+}$$
$$\frac{+(N_2-3)(P_{22}+P_{28})\ +(N_2-4)P_{23}\right]\ +}{+P_{13}+P_{19}+P_{20}+P_{26}+P_{30}+P_{33})+(N_2-2)(P_9+P_{14}+P_{15}+P_{21}+P_{27}+P_{31})+}$$
$$\frac{+\lambda_3\left[N_3(P_{14}+P_{16}+P_{19}+P_{21}+P_{22}+P_{23}+P_{24}+\right.}{+(N_2-3)(P_{16}+P_{22}+P_{28})+(N_2-4)P_{23}\right]+\lambda_3\left[N_3(P_0+P_1+P_3+P_4+P_6+P_9+\right.}$$
$$\frac{+P_{26}+P_{27}+P_{28}+P_{29}+P_{30}+P_{31}++P_{32}+P_{33}+P_{34})+}{+P_{10}+P_{12}+P_{14}+P_{16}+P_{17}+P_{19}+P_{21}+P_{22}+P_{23}+P_{24}+P_{26}+P_{27}+P_{28}+P_{29}+P_{30}+}$$
$$\frac{+(N_3-1)(P_5+P_8+P_{11}+P_{13}+P_{15}+P_{18}+P_{20}+P_{25})+}{+P_{31}+P_{32}+P_{33}+P_{34})+(N_3-1)(P_2+P_5+P_8+P_{11}+P_{13}+P_{15}+}$$
$$\frac{+(N_3-2)P_7\right]}{+P_{18}+P_{20}+P_{25})+(N_3-2)P_7\right]}.$$

Среднее число занятых каналов в рассматриваемой СС с НК определяется выражением:

$$\overline{V}=\sum_S V_jP_j=P_1+2(P_3+P_4)+3(P_6+P_{10})+4(P_2+P_9+$$
$$+P_{12}+P_{17})+5(P_5+P_{14}+P_{19}+P_{24})+$$
$$+6(P_8+P_{11}+P_{16}+P_{21}+P_{26}+P_{29})+7(P_{13}+P_{18}+P_{22}+$$
$$+P_{27}+P_{30}+P_{32})+$$
$$+8(P_7+P_{15}+P_{20}+P_{23}+P_{25}+P_{28}+P_{31}+P_{33}+P_{34})\ .$$

Применительно к реальной системе ее математическая модель будет являться обобщением «эталонной» для следующих дополнительных условий:

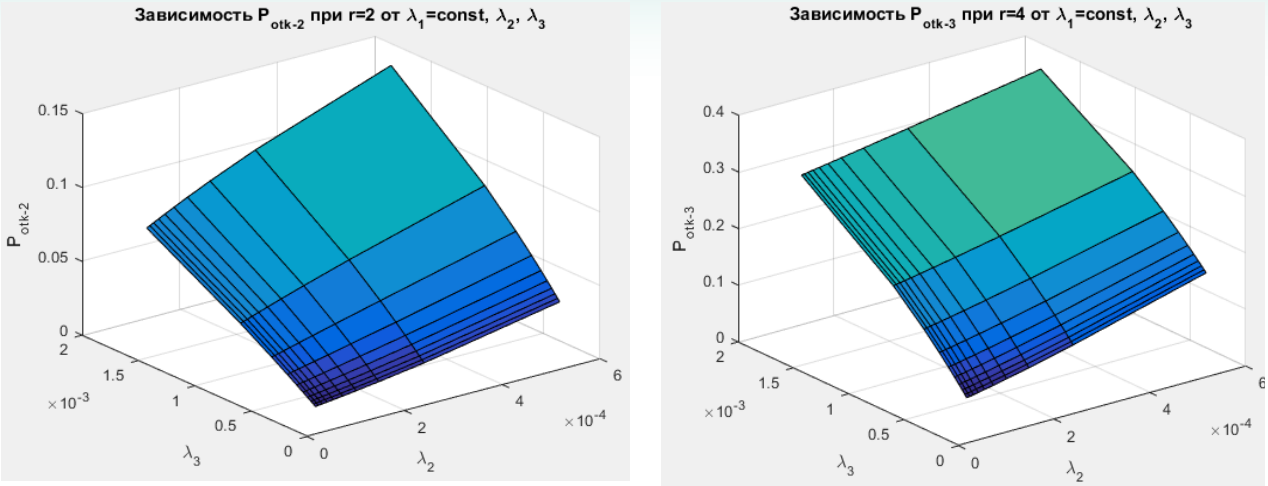
- поступающие на вход системы потоки неординарных вызовов обладают свойством структурированности, характеризующимся строгим порядком (структурой) выделения свободных каналов линейки согласно конкретных номеров временных окон, а не друг за другом или любого незанятого. Так, для обслуживания трафика с нормой неординарности r_2=2 могут предоставляться каналы с номерами 1 и 5, или 2 и 6, или 3 и 7, или 4 и 8, а для трафика с нормой неординарности r_3=4 – 1,3,5,7 или 2,4,6,8;
- указанная структурированность неординарного трафика обуславливает необходимость построения парциальной линейки как «динамически неполнодоступной»;
- порядок предоставления свободных каналов (дисциплина искания) уже не может быть произвольным и должен быть исследован с точки зрения обеспечения наилучшего качества обслуживания поступающих вызовов.

При этом в качестве одной из возможных дисциплин искания обобщенной модели было использовано упорядоченно-последовательное (неуправляемое) предоставление каналов, когда выделялись первые свободные временные окна, соответствующие вышеуказанной структуре трафика.

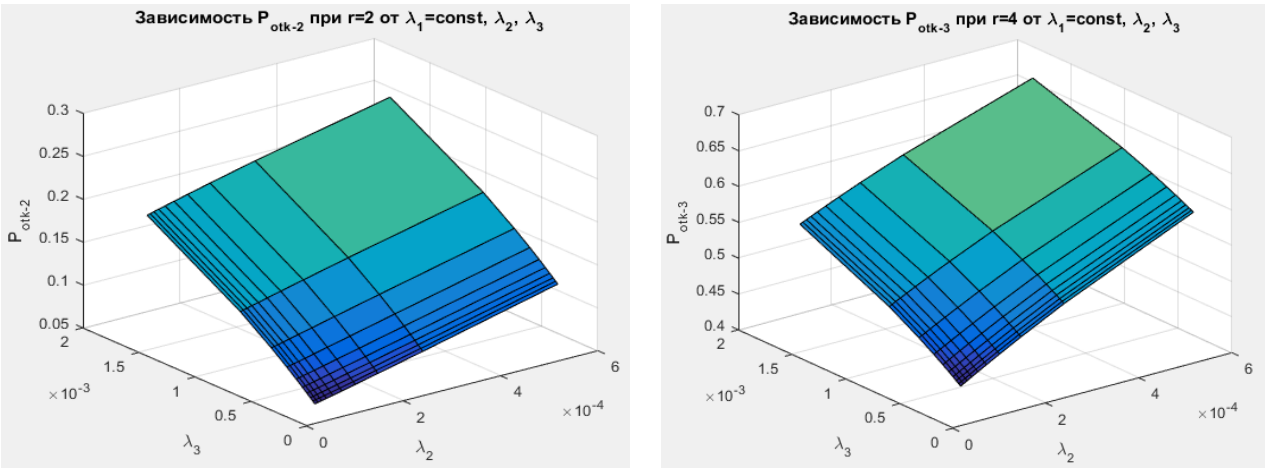
С учетом приведенных особенностей структура графа и система уравнений изменилась только в части отсутствия отдельных переходов из состояния в состояние. Число же состояний системы и их физический смысл осталось инвариантно. Кроме того, возросло количество состояний, в которых вызовы соответствующей группы получают отказ в обслуживании и, как следствие, увеличились вероятности отказа для источников, генерирующих неординарный трафик, а также обобщенная вероятность потерь по вызовам:

$$P_{отк\text{-}1}=P_7+P_{15}+P_{20}+P_{23}+P_{25}+P_{28}+P_{31}+P_{33}+P_{34}\ ;$$
$$P_{отк\text{-}2}=P_7+P_{15}+P_{20}+P_{23}+P_{25}+P_{28}+P_{31}+P_{33}+P_{34}+$$
$$P_{11}+P_{13}+P_{17}+P_{18}+P_{19}+P_{21}+$$
$$+P_{22}+P_{24}+P_{26}+P_{27}+P_{29}+P_{30}+P_{32}\ ;$$
$$P_{отк\text{-}3}=P_7+P_{15}+P_{20}+P_{23}+P_{25}+P_{28}+P_{31}+P_{33}+P_{34}+$$
$$P_{11}+P_{13}+P_{17}+P_{18}+P_{19}+P_{21}+$$
$$+P_{22}+P_{24}+P_{26}+P_{27}+P_{29}+P_{30}+P_{32}+P_4+P_5+P_6+$$
$$P_8+P_9+P_{10}+P_{12}+P_{14}+P_{16}.$$

$$P_{отк}=\frac{\lambda_1\left[N_1(P_7+P_{15}+P_{23})+(N_1-2)(P_{20}+P_{28})+\right.}{\lambda_1\left[N_1(P_0+P_2+P_3+P_7+P_8+P_9+P_{15}+P_{16}+P_{23})+(N_1-1)(P_1+P_5+P_6+\right.}$$
$$\frac{+(N_1-4)(P_{25}+P_{31})+(N_1-6)P_{33}+}{+P_{13}+P_{14}+P_{22})+(N_1-2)(P_4+P_{11}+P_{12}+P_{20}+P_{21}+P_{28})+(N_1-3)(P_{10}+P_{18}+}$$
$$\frac{+(N_1-8)P_{34}\right]+}{+P_{19}+P_{27})+(N_1-4)(P_{17}+P_{25}+P_{26}+P_{31})+(N_1-5)(P_{24}+P_{30})+}$$
$$\frac{+\lambda_2\left[N_2(P_7+P_{11}+P_{17}+P_{18}+P_{24}+P_{25}+P_{29}+P_{32}+P_{34})+\right.}{+(N_1-6)(P_{29}+P_{33})+(N_1-7)P_{32}+(N_1-8)P_{34}\right]+\lambda_2\left[N_2(P_0+P_1+P_2+P_4+P_5+\right.}$$
$$\frac{+(N_2-1)(P_{13}+P_{19}+P_{20}+P_{26}+P_{30}+P_{33})+(N_2-2)(P_{15}+P_{21}+P_{27}+P_{31})+}{+P_7+P_{10}+P_{11}+P_{17}+P_{18}+P_{24}+P_{25}+P_{29}+P_{32}+P_{34})+(N_2-1)(P_3+P_6+P_8+P_{12}+}$$
$$\frac{+(N_2-3)(P_{22}+P_{28})\ +(N_2-4)P_{23}\right]\ +}{+P_{13}+P_{19}+P_{20}+P_{26}+P_{30}+P_{33})+(N_2-2)(P_9+P_{14}+P_{15}+P_{21}+P_{27}+P_{31})+}$$
$$\frac{+\lambda_3\left[N_3(P_4+P_6+P_9+P_{10}+P_{12}+P_{14}+P_{16}+P_{17}+P_{19}+P_{21}+P_{22}+P_{23}+P_{24}+\right.}{+(N_2-3)(P_{16}+P_{22}+P_{28})+(N_2-4)P_{23}\right]+\lambda_3\left[N_3(P_0+P_1+P_3+P_4+P_6+P_9+\right.}$$
$$\frac{+P_{26}+P_{27}+P_{28}+P_{29}+P_{30}+P_{31}++P_{32}+P_{33}+P_{34})+}{+P_{10}+P_{12}+P_{14}+P_{16}+P_{17}+P_{19}+P_{21}+P_{22}+P_{23}+P_{24}+P_{26}+P_{27}+P_{28}+P_{29}+P_{30}+}$$
$$\frac{+(N_3-1)(P_5+P_8+P_{11}+P_{13}+P_{15}+P_{18}+P_{20}+P_{25})+}{+P_{31}+P_{32}+P_{33}+P_{34})+(N_3-1)(P_2+P_5+P_8+P_{11}+P_{13}+P_{15}+}$$
$$\frac{+(N_3-2)P_7\right]}{+P_{18}+P_{20}+P_{25})+(N_3-2)P_7\right]}.$$



а)



б)

Рис. 2. Результаты моделирования функционирования парциальной линейки системы связи с незакрепленными каналами

Некоторые результаты расчетов по «эталонной» модели парциальной линейки и ее обобщению для вышеприведенных условий функционирования представлены на *рисунках 2а* и *2б* соответственно.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что совместное использование предложенных «эталонной» математической модели парциальной линейки системы связи с незакрепленными каналами, а также ее обобщения позволяет оценить степень влияния дисциплины искания на качество информационного обмена, что является основой для формирования такой стратегии (алгоритма) искания, реализация которого позволит для условий неполнодоступности коммуникационного ресурса СС с НК и структурированной неординарности трафика достичь вероятности отказа в обслуживании близкой к оптимальной, характерной для ПКС.

Литература

1. Телекоммуникационные системы и сети. В 3-х томах. Т.2. Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Катунин Г.П., Мамчев Г.В., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П.; под ред. В.П.Шувалова. М.:Горячая линия-Телеком, 2004. 672 с.
2. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход: монография. М.: Вузовская книга, 2014. 144 с.
3. Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. В 2-х томах. Т.1. 2-е изд. Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 384 с.
4. Москвин А.А. Методика формирования структуры направлений связи двухуровневой радиально-узловой сети передачи данных на сеансе связи // Электросвязь, 2020. № 11. С.50-57.
5. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. М.: Горячая линия-Телеком, 2015. 868 с.

УДК 612.858.76; 784; 781.1; 53.02

О ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ НАСТРОЙКАХ МУЛЬТИРЕЗОНАНСНЫХ УСТРОЙСТВ*

ABOUT THE PREFERRED UNIVERSAL SETTINGS FOR MULTI–RESONANT DEVICES

Александр Владимирович Елистратов
ведущий инженер
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ул. Институтская, д. 3
Тел.: +7(4967)73-92-62
E-mail: unenlagia@yandex.ru

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

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

Аннотация
Настройка сложной мультирезонансной аппаратуры, характеристики которой нередко подвержены трудно учитываемым дрейфам, во многом аналогична настройке музыкальных инструментов, функционирующих в составе больших оркестров. Эта аналогия может иметь большое прикладное значение, т.к. традиционные интуитивно обоснованные настройки музыкальных инструментов теперь подтверждаются точными значениями настроек, вычисленных на базе т.н. универсальной системы утраивающихся периодов, охватывающей в том числе и технические устройства.
Ключевые слова: репликатор, дубликатор, трипликатор, звук, слух человека, музыка, октава, страта, универсальная система утраивающихся периодов, биосфера, настройка музыкальных инструментов.

Summary
Tuning complex multi-resonant equipment, the characteristics of which are often subject to drifts that are difficult to take into account, are in many ways similar to tuning musical instruments that function as part of large orchestras. This analogy can be of great practical importance, since the traditional intuitive settings of musical instruments are now confirmed by the exact values of the settings calculated on the basis of the so-called a universal period-tripling system including technical devices.
Keywords: replicator, duplicator, triplicator, sound, human hearing, music, octave, stratum, universal period-tripling system, biosphere, tuning of musical instruments.

Настройка музыкальных инструментов, функционирующих в составе больших оркестров, во многом аналогична настройке сложной аппаратуры, частотные характеристики которой нередко подвержены трудно учитываемым дрейфам и, следовательно, необходимости регулярных поверок. К идее стоящей за этой аналогией универсальной системы утраивающихся периодов (УСУП) мы пришли, существенно опираясь на изложенные в [1-3] результаты многолетних экспериментальных и теоретических исследований зарубежных авторов. Как показывают вычисления на базе УСУП, аналогия с настройками музыкальных инструментов может иметь большое прикладное значение при обслуживании технических устройств.

В данном контексте очень важной является идея репликатора. В современной биологической литературе большое внимание оказывают вопросу о происхождении репликатора – первой биологической клетки, которая затем уже копирует сама себя и размножается за счет последовательных удвоений. Этот автомат – дубликатор клеток – с необходимостью запускает биологиче-

* Работа выполнена по госзаданию ИЭТБ РАН, № госрегистрации 01201351298.

скую эволюцию, сохраняя в процессе увеличения биомассы М те редкие искажения в своей работе – мутации, после которых клетки более успешны для продолжения размножения (*рисунок 1А*). В серии работ, посвященных исследованию универсальной системы утраивающихся периодов [4-7], мы пришли к идее трипликатора, еще одной реализации идеи репликатора. Трипликатор приводит в ходе своего функционирования к лавинообразному удлинению периода Т за счет последовательных утроений периода и в результате этого появляется множество наблюдаемых практически во всех масштабах периодических процессов с многократно утроенными периодами (*рисунок 1Б*). Предполагается, что трипликатор может играть в физической вселенной такую же роль, какую дубликатор играет в биосфере.

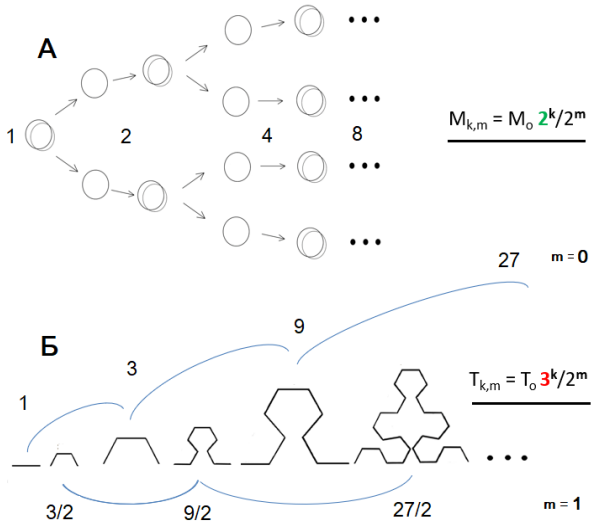


Рис. 1. Два репликатора: дубликатор (А) и трипликатор (Б). Дубликатор – самовоспроизводящийся автомат, приведший к возникновению биосферы и апостериори интерпретируемый как биологический. Трипликатор – гипотетический самовоспроизводящийся автомат; предполагается, что именно он приводит к наблюдаемой УСУП, т.е. универсальной системе утраивающихся периодов. Параметр «k» описывает количество поколений репликатора. Параметр «m» обычно описывает число и тип мутаций – искажений, закрепившихся в механизме работы репликатора

В статье [4] мы показали, что одним из частных проявлений работы трипликатора является существование системы особенных звуковых частот, приведших при развитии человеческой культуры к формированию понятия системы музыкальных нот. В звуковом диапазоне проявилась семерка предпочтительных диапазонов. Тяготение этих семи «базовых/утраивающихся диапазонов» к частотам УСУП видно из *рисунка 2*. Оказывается, что положения обусловленных ими «базовых нот» практически симметричны по отношению к периодам УСУП с m=0 и m=1, представляющих два набора периодов, проявляющихся в ходе естественной эволюции немутирующего трипликатора (см. *рисунок 1Б*). В ходе развития европейской музыки были эмпирически выбраны семь соответствующих «базовых нот», проявляющих, как оказалось, самое тесное приближение к этим особым наборам частот УСУП. Схема на *рисунке 2* соответствует пифагорейскому музыкальному строю. Традиционные музыкальные октавы заполняются (т.е. частоты остальных белых клавиш рояля вычисляются) соответствующим делением или умножением семи «базовых» музыкальных частот (*рисунок 2*) на целочисленные степени двойки. По этому же алгоритму конструируется спектр частот, отвечающий черным клавишам рояля, но соответствующие пять «базовых нот» лежат уже вне диапазона человеческого слуха, то есть в областях ближнего инфразвука и ближнего ультразвука.

Темперация фактически не смещает приведенные на *рисунке 2* положения семерки «базовых» музыкальных частот: все семь «базовых белых клавиш» остаются, в общем-то, на своих местах, т.е. вывод о предельно сильной

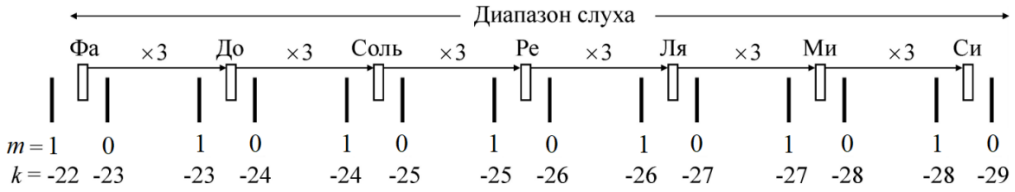


Рис. 2. При общепринятой сейчас настройке ноты Ля первой октавы по камертону 440 Гц все семь ограниченных диапазоном слуха человека 20 Гц÷20 КГц утраивающихся частот «базовых» нот Фа, До, Соль, Ре, Ля, Ми и Си, т.е. «белых клавиш рояля» попадают на рисунке в середины пар частот УСУП. Тем не менее, очевидно небольшое отклонение «вправо» положений этих клавиш от положений, точно соответствующих серединам этих пар. При перенастройке Ля первой октавы к камертону 430.5 Гц все приведенные на рисунке «базовые» ноты сместятся влево и уже точно совпадут с серединами приведенных пар частот УСУП. К сожалению, этот реальный феномен, обусловленный наличием УСУП, подкрепил широко распространившуюся нумерологическую теорию об особенной роли настройки музыкальных инструментов по камертону 432 Гц

корреляции частот базовых музыкальных нот с серединами пар периодов УСУП остается справедливым.

Усовершенствованием, которое подсказывается *рисунком 2*, может стать возможность (но вовсе не обязательность!) перенастройки музыкальных инструментов от рекомендованного сейчас спектра частот, основанного на камертоне 440 Гц, к спектру частот, основанному на камертоне 430,5 Гц. «Базовые» ноты (семь «белых клавиш» на *рисунке 2*) в этом случае смещаются точно к серединам пар частот УСУП. Более того, усреднение по обнаруженным в доступной музыкальной литературе частотам настройки, тоже ведет в окрестность частоты 430.5 Гц, т.е. в результате этого усреднения настроек «базовые ноты» тоже попадают приблизительно в середины пар соседних частот УСУП с $m=0$ и $m=1$. Фактически это подтверждает универсальную/ фундаментальную (т.е. физическую) обусловленность настройки музыкальных инструментов и еще раз подчеркивает значимость феномена УСУП для резонансных явлений в сложных системах.

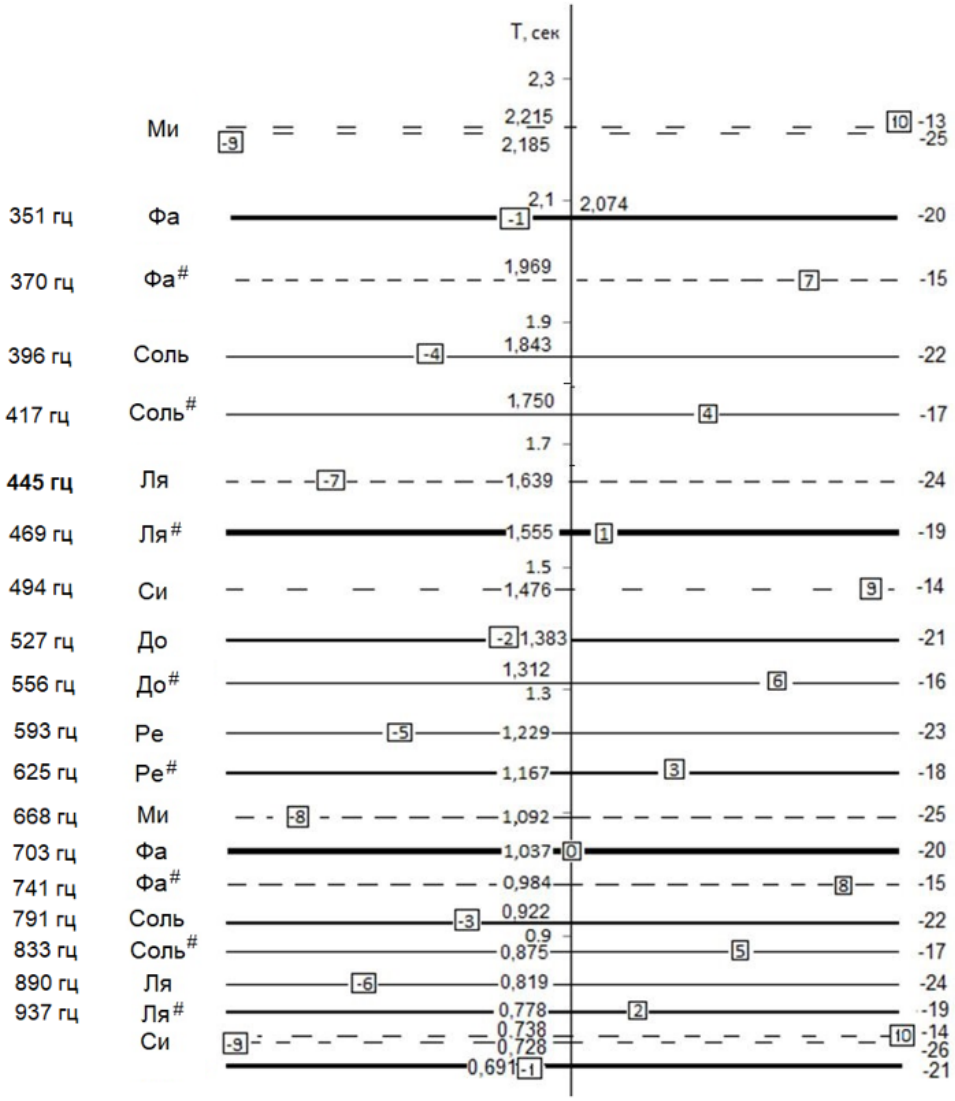


Рис. 3. Диапазон периодов $T_{m;k}$, включающий одну страту УСУП, расположенную в окрестности односекундного периода. Горизонтальные линии – уровни $T_{m;k}$. Колонка чисел справа – значения параметра «k» уровней, а числа в рамочках на уровнях – значения параметра «m». Выше и ниже находятся аналогичные страты, где периоды $T_{m;k}$ отличаются втрое, еще раз втрое и т.д. Ввиду практически полного подобия всех страт серия аналогичных страт проходит, в частности, и через звуковую область частот. Слева представлены вычисленные частоты и соответствующие музыкальные ноты, попавшие в ту страту звукового диапазона, которая включает в себя окрестность частоты 440 Гц. Спаренные периоды в верхней и нижней частях рисунка различаются на одну пифагорейскую комму; обозначение двух соседних звуков одной нотой (Ми – в верхней части *рисунка 3*, Си – в нижней) устраняет «люфт нот» между соседними стратами и позволяет выстроить непрерывную шкалу нот по всей УСУП

Чисто эмпирически обусловленная настройка Ля первой октавы где-то на окрестность УСУП-обусловленной частоты 430.5 Гц широко поддерживается случайным обстоятельством: близкая к 430.5 Гц частота настройки на 432 Гц – так называемая классическая настройка времен Моцарта и Верди – влечет за собой совпадение частоты ноты До первой октавы с частотой 256 Гц. Эта частота, значение которой можно записать в форме 2^8 Гц показалась многим музыкантам весьма привлекательной; она удобно связала номер каждой октавы с целочисленным логарифмом (т.е. показателем степени) частоты первой ноты этой октавы, с ее До. Например, при такой настройке предыдущие октавы начинаются с частот До равных …, $32=2^5$ Гц, $64=2^6$ Гц, 128 Гц$=2^7$ Гц, а следующие – с частот До равных 512 Гц$=2^9$ Гц, 1024 Гц$=2^{10}$ Гц, 2048 Гц$=2^{11}$ Гц, и т.д. Возможностей для математических упражнений на музыкальную тему было предостаточно и во времена Моцарта (XVII в.) и во времена Верди (XIX в.). Тогда музыканты уже широко использовали понятие периода, измеряемого в секундах, и частоты, измеряемой в обратных секундах (1/сек). Частоту выражать в новых единицах, Герцах (Гц), стали лишь в XX в. после введения международной системы СИ.

По определению, октава в музыкальной теории – это удвоение частоты звука. В октаву, в соответствующий ей диапазон удвоения частоты, помещается 12 отчетливо выраженных частот; важно, что частоты соседних нот этого т.н. пифагорейского строя не близки друг к другу. Набор этих частот УСУП в окрестности привилегированной (согласно стандарту ISO 16 [8]) частоты 440 Гц изображен на *рисунке 3* слева.

Кстати, определение страты УСУП – понятия, введенного в нашей работе [9] – вполне аналогично определению октавы в теории музыки; в страте УСУП утроение периода играет ту же роль, какую в октаве играет удвоение периода. Тесная связь понятий страты УСУП и музыкальной октавы видна, например, в том, что в страте УСУП размещается 19 нот (см. *рисунок 3*), а в музыкальной октаве, как отмечено выше, их 12 штук; при этом знаменитая пифагорейская комма 1.013643 есть известное отношение частот 3^{12} и 2^{19}. В каждом из этих чисел антисимметрично замешаны специфические численные характеристики страты УСУП (3 и 19) и музыкальной октавы (2 и 12).

Согласно стандарту ISO 16 для настройки музыкальных инструментов выбирается частота ноты Ля первой октавы 440 Гц. В контексте данной публикации важно, что это период УСУП 1/445 секунды. Несмотря на существование стандарта ISO 16, жестко закрепившего частоту эталонной Ля первой октавы на отметке 440 Гц, оркестры и исполнители продолжают настраиваться так, как им нравится – применение стандарта музыканты посчитали не очень обязательным. Так обстоят дела и по сей день: в сети Интернет можно найти, что Нью-Йоркский филармонический оркестр настраивается по Ля первой октавы на частоте 442 Гц, Бостонский Симфонический оркестр полагается на частоту 441 Гц, а большинство симфонических оркестров Европы предпочитает настраиваться по Ля на отметке в 443 или 444 Гц. Как видно, рассогласование рекомендованной частоты 440 Гц и близкой к ней вычисленной частоты УСУП 445 Гц, которую естественно принять за подсказанное самой природой определение частоты Ля первой октавы, во-первых, невелико и, во-вторых, нередко музыкантами интуитивно минимизируется.

Следует акцентировать внимание на том, что в отличие от переходов от октавы к соседней октаве, где названия музыкальных нот сохраняются при переходах от страты к соседней страте названия музыкальных нот уже не сохраняются. Их смена происходит в соответствии со сменами нот, показанными на *рисунке 2* стрелками. Например, на *рисунке 3* спаренные периоды в верхней и нижней частях рисунка отвечают не одинаковым нотам, а нотам Ми и Си, соединенным стрелкой на *рисунке 2*.

Выводы

1. Существование универсальной системы утраивающихся периодов подсказывает, что тонкая настройка музыкальных инструментов, а тем более инструментов, функционирующих в составе больших оркестров, вполне аналогична тонкой настройке сложной мультирезонансной аппаратуры, характеристики которой нередко подвержены трудно учитываемым дрейфам. Основанные на трудно формализуемом опыте музыкантов настройки по частотам 432 Гц и 440 Гц, уже ставшие традиционными, фактически подтверждены новыми рекомендованными значениями частот настройки 430.5 Гц и 445 Гц, вычисленными на базе УСУП. Это достижение обещает успешное приложение идеологии УСУП в конкретных технических задачах.

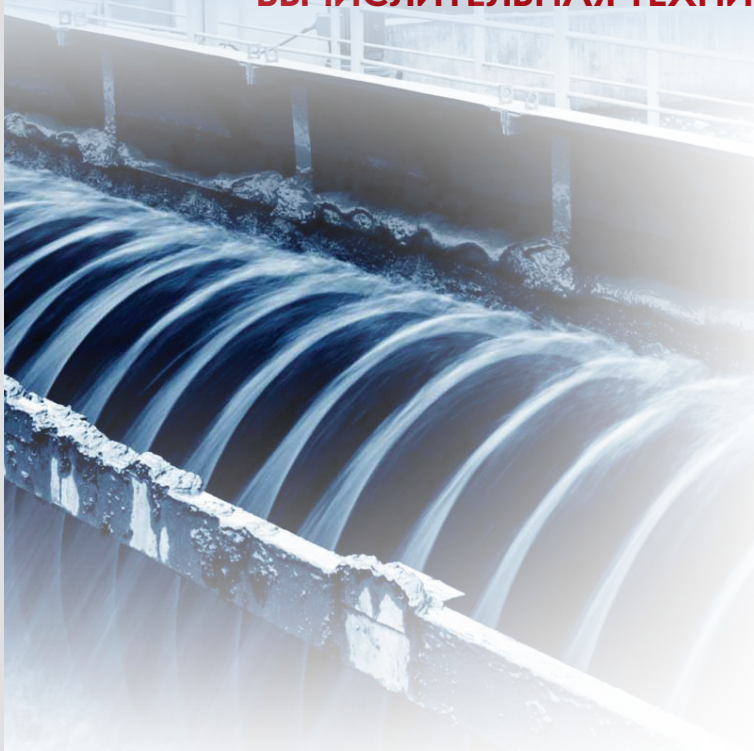
2. Введенное нами в статье [9], посвященной проблемам метрологии, новое понятие «страта УСУП» оказалось диалектическим дополнением традиционного понятия «музыкальная октава». Тесная связь этих двух понятий видна, например, в величине пифагорейской коммы – характерного соотношения музыкальных частот $3^{12}/2^{19}$. В пифагорейской комме неразрыв-

но сплавлены аналогичные численные характеристики страты УСУП (3 и 19) и традиционной музыкальной октавы (2 и 12). Диалектическое единство страты и октавы означает, что в принципе понятие октавы может быть полностью элиминировано из музыкальной теории – на это указывает опыт успеха музыкальной теории без использования понятия страты УСУП.

Литература

1. Muller H. Fractal scaling models of resonant oscillations in chain systems of harmonic oscillators. Progress in physics. 2009, iss. 2, Pp.72-76.
2. 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; ISBN: 978-1-4327-1216-7.
3. Puetz Stephen J., Prokoph Andreas, Borchardt Glenn, Mason Edward W. Evidence of synchronous, decadal to billion- year cycles in geological, genetic, and astronomical events. Chaos, Solitons & Fractals. 2014, 62-63, Pp.55-75.
4. Бондарь А.Т., Федоров М.В., Коломбет В.А. Фундаментальная система утраивающихся периодов как базис новой методологии изучения мультимасштабных физических и биологических явлений// Биофизика, 2015. №60(6). С.1208.
5. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. О перспективе применения фундаментальной системы утраивающихся периодов в мультимасштабных технических устройствах// Известия Института инженерной физики, 2016. №1(39). С.8-11.
6. Коломбет В.А., Лесных В.Н., Коломбет Е.В. Универсальная система утраивающихся периодов и музыкальный строй// Известия Института инженерной физики, 2018. №3(49). С.88-90.
7. 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.
8. ISO 16: 1975. Acoustics – Standard tuning frequency (Standard musical pitch). https://www.iso.org/standard/3601.html
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.

УДК 004.942



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ

MATHEMATICAL MODEL OF WATER COOLING PROCESS IN THE TREATMENT FACILITIES OF ENTERPRISES

Геннадий Семенович Бут
кандидат технических наук
доцент
филиал ВА РВСН им. Петра Великого
(г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (919) 994-60-98
E-mail: 9199946098@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена проблема расчета естественного отвода тепловой энергии с поверхности очистных сооружений. Использованы зависимости, позволяющие в значительной мере уточнить расчеты тепловых потерь применительно к очистным сооружениям. Апробирована методика и разработано программное обеспечение к ней, позволяющее проводить расчеты охлаждающей способности очистных сооружений предприятий. С целью проверки достоверности полученных новых зависимостей и программного обеспечения проведены исследования работы очистных сооружений в части их охлаждающей способности.

Ключевые слова: математическая модель, аккумулирование тепловой энергии, системы оборотного водоснабжения, охлаждение воды, естественный отвод тепловой энергии.

Summary

A problem on the calculation of natural removal of heat energy from the surface of treatment works is considered. Dependences which permit refining to great extent the results from the calculation of heat losses as applied to the treatment works are used. A procedure is approved and software to it is developed which permits calculating the cooling ability of treatment works for enterprises. The function of treatment works as to the cooling ability is studied to check reliability of the obtained new dependences and software.

Keywords: mathematical model, heat energy accumulation, process, circulating water supply systems, water cooling, natural heat removal.

Система водоснабжения современного предприятия состоит из двух подсистем: подсистемы производства, подсистемы очистных сооружений. В этих подсистемах происходят процессы изменения величины тепловой энергии, которая аккумулируется водной системой, т.е. данные две подсистемы оказывают активное воздействие на процесс аккумулирования низкопотенциальной тепловой энергии в системах оборотного водоснабжения. Под низкопотенциальным теплом в данном случае подразумевается вода с температурой от 30 до 70°С. Низкопотенциальное тепло, применительно к картонно-бумажным предприятиям, образуется путем рекуперации тепловой энергии, которая содержится в паровоздушной смеси, удаляемой из сушильной части картонно- или бумагоделательных машин, водой в теплорекуперанионной установке, за счет нагрева воды при охлаждении технологического оборудования, в результате тепловых процессов обработки водно-волокнистой массы (термодисперсионная обработка), за счет рекуперации тепла паровоздушной смеси уплотнительной водой в вакуумной системе, в размольно-подготовительном отделе за счет нагрева воды в процессе размола массы.

С одной стороны, повышение температуры воды в системе оборотного водоснабжения, используемой в технологическом процессе, играет положительную роль, так как ведет к снижению потребления тепловой энергии на ведение технологических процессов. С другой – повышение

температуры следует ограничивать, так как это может привести к нарушению процессов биологической очистки воды, слизеобразованию, увеличению коррозии оборудования, могут возникнуть затруднения с повторным использованием воды для целей охлаждения оборудования.

На *рисунке 1* приведена кривая, показывающая, что для крупного предприятия, рассчитанного на выпуск 290 т/сут картона, при уменьшении потребления свежей воды <10м^3 на 1 т вырабатываемой продукции приведет к росту температуры в системе оборотного водоснабжения свыше 40°С. Но одним из главных факторов ограничения роста температуры воды в системах оборотного водоснабжения являются сооружения биологической очистки, в которых должен поддерживаться температурный режим сточной воды на входе в аэротенки не выше 38°С [1], в противном случае наблюдается резкое снижение эффективности биологической очистки. Поэтому на стадии проектирования и реконструкции систем оборотного водоснабжения, направленным к цели снижения потребления свежей воды и увеличению использования оборотной воды, всегда необходимо выполнять расчет теплового баланса всех водопотоков.

Подсистему производства и подсистему очистных сооружений, с точки зрения системного подхода, необходимо рассматривать во взаимосвязи. Изменение количественных и качественных показателей тепловых процессов в подсистеме производства ведет к изменению тепловых потерь в подсистеме очистных сооружений. Выявить взаимосвязь этих процессов позволяет математическое моделирование данных процессов на ЭВМ. Основой моделирования служит математическое описание указанных процессов.

В подсистеме производства происходят технологические процессы, в результате которых в водную систему генерируется тепловая энергия. Методы расчета тепловой энергии, вносимой в водную систему со стороны теплогенерирующего оборудования картонно-бумажных предприятий, разработаны в [2].

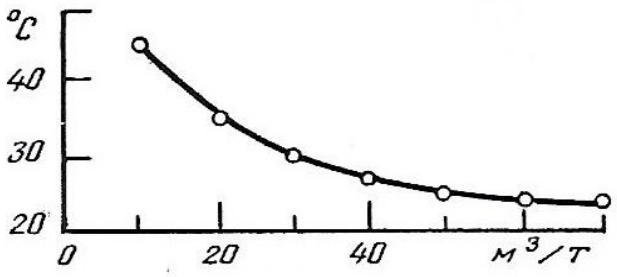


Рис. 1. Зависимость температуры водной системы картонной фабрики от удельного расхода свежей воды, м^3/т

В подсистеме очистных сооружений, где имеется взаимодействие с окружающей средой, происходят процессы отвода тепловой энергии.

Для дальнейших исследований, связанных с разработкой методов расчета накопления низкопотенциальной тепловой энергии в системах оборотного водоснабжения картонно-бумажных предприятий, возникает необходимость расчета количества тепловой энергии, отводимой с поверхности очистных сооружений в окружающую среду.

В настоящее время недостаточно освещена в литературе тема расчета и отвода тепловой энергии с поверхности очистных сооружений. Данная работа посвящена разработке математической модели расчета теплоотдачи с поверхности радиальных отстойников и аэротенков биологической очистки сточных вод.

Теплообмен сточной воды с атмосферой определяется взаимодействием внешних факторов, характеризующих состояние атмосферы над водной поверхностью и температурой поверхности воды. Теплообмен с атмосферой осуществляется путем конвективного переноса тепла, испарения, излучения.

Конвективный перенос тепловой энергии возникает при наличии разности температур между поверхностью воды и атмосферой и направлен от мест с более высокой температурой к местам с более низкой температурой. Перенос тепла осуществляется при этом действием теплопроводимости и, главным образом, турбулентного переноса тепловой энергии — конвекцией. Процесс теплопереноса конвекцией описывается системой дифференциальных уравнений, в которую входят уравнения энергии, а также уравнения движения и неразрывности [3-5].

Проявлением конвективного массообмена является испарение жидкости со свободной поверхности.

Испарение жидкости возникает в том случае, когда парциальное давление (или упругость водяного пара) в слое, образующемся у поверхности жидкости, превышает давление в воздушной среде. Концентрация водяного пара у поверхности воды принимается равной концентрации при полном насыщении.

В летнее время доля испарения в суммарной теплоотдаче конвекцией, испарением и излучением доходит до 90% [6]. В весеннее и зимнее время роль испарения снижается, и в зимний период преобладающее значение имеет конвективный теплообмен. С ростом температуры жидкости отрыв молекул происходит все более интенсивно и величина испарения возрастает.

Процесс конвективного массообмена описы-

вается системой дифференциальных уравнений, сходных с уравнениями, описывающими теплоперенос, ввиду сходства этих процессов [3,5,7].

Эффективное излучение водной поверхности, представляет собой разность между собственным излучением поверхности воды и поглощенной ее частью встречного излучения атмосферы. Эффективное излучение приводит к потере тепла водной массой и снижению ее температуры.

Процесс тепло- и массообмена водного объекта с окружающей средой характеризуется уравнением теплового баланса, выражающего частный случай закона сохранения и превращения энергии. Уравнение теплового баланса может быть записано для произвольного объема воды или ее поверхности. Тепловой баланс водного объекта отражает совокупность условий тепло- и массообмена на всех его границах, а также условия процессов тепло- и массообмена в пределах водной массы. Он определяется внешними условиями, к которым относятся метеоусловия и тепловая нагрузка на водный объект от разного рода предприятий, сбрасывающих в него теплую воду.

Для стационарных условий уравнение теплового баланса Мкал/(м²*сут) может быть записано [8]

$$(\Delta S/\Omega)+R=a_u(e_m-e_2)+0{,}48\cdot a_u(t_{cp}-\theta) \quad (1)$$

где ΔS – тепловая нагрузка на водный объект, Мкал/сут;

$\Delta S/\Omega$ – удельная тепловая нагрузка на водный объект от предприятия, Мкал/(м²*сут);

R – радиационный баланс, Мкал/(м²*сут);

a_u – коэффициент теплоотдачи испарением, Мкал/(м²*сут*мм);

e_m – упругость водяного пара при полном насыщение, соответствующая средней температуре водной поверхности, см. рт. ст.;

e_2 – упругость водяного пара воздуха на высоте 2 м, мм. рт. ст.;

$t_{ср}$ – средняя температура водной поверхности, °С;

θ – температура воздуха на высоте 2 м, °С.

$$\Delta S/\Omega=Q\cdot\Delta t\cdot c\cdot p/\Omega \quad (2)$$

где Ω – площадь водного объекта, м²;

Q – циркуляционный расход нагретой воды, м³/сут;

Δt – разность температур воды на входе и выводе водного объекта, °С;

c – удельная теплоемкость воды, Мкал/(т*град);

p – плотность воды, т/м³.

Левая часть уравнения (1) представляет собой поступление тепла в водный объект от предприятия и солнечной радиации, правая часть – потери тепла испарением и конвекцией. Потери тепла эффективным излучением входят в состав радиационного баланса.

При аккумулировании тепла в нестационарных условиях в водном объекте правая часть уравнения теплового баланса (1) будет возрастать по сравнению с левой, а при расходовании – тепла наоборот

$$(\Delta S/\Omega)+R=a_u(e_m-e_2)+0{,}48\cdot a_u(t_{cp}-\theta)\pm(dt/d\tau)\cdot h_{cp}\cdot p\cdot c \quad (3)$$

где $(dt/d\tau)\cdot h_{cp}\cdot p\cdot c$ – изменение теплосодержания водного объекта во времени, Мкал/(м²*сут);

h_{cp} – средняя глубина водного объекта, м;

τ – время, сут.

Для выполнения теплового расчета водного объекта необходимы следующие метеорологические данные: температура воздуха, упругость водяного пара, общая облачность, скорость ветра. Метеорологические данные принимаются по наблюдениям ближайшей метеорологической станции, а по возможности, осредненными по нескольким ближайшим метеостанциям.

Температура воздуха (°С) и упругость водного пара измеряются на метеостанциях на высоте 2 м, такими же принимаются и в расчете. Упругость водяного пара воздуха выражена в миллибарах (или гектопаскалях), для теплового расчета пересчитывается в миллиметры ртутного столба. Общая облачность оценивается в баллах (от 0 до 10) и пересчитывается для расчета в доли единицы – от нуля до единицы. При этом нуль – при безоблачном небе, единица – при сплошной облачности.

Скорость ветра на метеостанциях измеряется на высоте 9-13 м, а для расчетов необходима скорость ветра на высоте 2 м. Пересчет скорости ветра с высоты мачты на высоту 2 м над поверхностью земли выполняется с помощью формулы вертикального распределения скорости ветра в приземном слое [9]

$$U=U_{x\delta}\cdot Re_{x\delta}\cdot(1{,}15\cdot\lg(h/\delta)+1{,}5-0{,}5(\delta/h) \quad (4)$$

где U, $U_{x\delta}$ – скорость ветра и динамическая скорость, м/с;

$Re_{x\delta}$ – параметр, представляющий собой характеристику турбулентности;

h – высота, на которой измерена скорость ветра, м;

δ – толщина приземного подслоя, м.

Радиальный баланс водной поверхности представляет собой величину теплового накопления Мкал/(м²*сут) в водной массе, образованную под действием солнечной радиации за вычетом эффективного излучения водной поверхности

$$R=(Q+q)_n\cdot(1-a)-I_n \quad (5)$$

где $(Q+q)_n$ – суммарная солнечная (прямая и рассеянная) радиация при общей облачности n, Мкал/(м²*сут);

a – альбедо, доли ед. (альбедо или отражательной способностью какой-либо поверхности называется отношение потока отраженной данной

поверхностью солнечной радиации к потоку падающей радиации, выраженное в долях единицы или процентах. Альбедо водной поверхности сильно зависит от угла падения солнечных лучей).

$$(Q+q)_n=(Q+q)_0[1-(1-K_\varphi)\cdot n] \quad (6)$$

где $(Q+q)_0$ – суммарная солнечная радиация при безоблачном небе, Мкал/(м²*сут);

n – общая облачность, доли ед;

K_φ – коэффициент, учитывающий широту места расположения водного объекта.

Значения $(Q+q)_0$ принимаются по приложению №5 [8]. Значение альбедо водной поверхности и величина коэффициента, учитывающего географическую широту местности, находят соответственно по приложениям №6, №7 [8]. Влажность воздуха является одной из существенных характеристик атмосферы. Максимально возможная при данной температуре упругости водяного пара называется упругостью насыщения e_m и зависит от температуры воздуха, возрастая вместе с ее повышением.

Предлагается следующая зависимость упругости насыщения водяного пара е мм. рт. ст. от температуры воздуха θ

$$e_m=4,579+0,28093\cdot\theta+0,01739\ *\theta^2- 0,00068\cdot\theta^3+0,0000062\cdot\theta^4 \quad (7)$$

На основе имеющихся необходимых метеофакторов и тепловой нагрузки на очистные сооружения определяем составляющие теплового баланса водного объекта и по уравнению теплового баланса (1) относительно средней температуры водной поверхности $t_{ср}$ методом итерации находим среднюю температуру водной поверхности $t_{ср}$ очистных сооружений.

Чтобы получить температуру воды на выходе из очистных сооружений $t_{вых}$, т.е. температуру охлажденной в очистных сооружениях воды, необходимо иметь распределение температуры на поверхности воды (в виде изотерм, или графика изменения температуры водной поверхности от места входа на очистные сооружения до места выхода). С получением $t_{вых}$ заканчивается решение теплового расчета, так как зная температуру сточной воды на входе и выходе очистных сооружений, получаем его охлаждающую способность.

Тепловой расчет, изложенный выше, применительно к очистным сооружениям ведется с помощью методических рекомендаций, разработанных в [8].

Для теплового расчета на основе [10] предлагается зависимость коэффициента теплоотдачи испарением в виде полинома 4-й степени [11].

Для нейтральной стратификации, т.е. $\Delta t=t_{ср}-\theta=0$ и скорости ветра на высоте 2 м, U_2 величина коэффициента теплоотдачи испарением Мкал/(м²*сут*мм) определяется по зависимости

$$a_{и,о}=0,118+0,2U_2+0,00409U^2_2+0,000285U^3_2+ +0,0000394U^4_2 \quad (8)$$

При $\Delta t\neq0$ (более или менее) в дополнение к $a_{и,о}$ вводится величина $F(\Delta t)$, учитывающая влияние стратификации, Мкал/(м²*сут*мм)

$$F(\Delta t)=1+0,1127\Delta t+0,0,0032\,\Delta t^2-0,00076\Delta t^3+ +0,000026\Delta t^4. \quad (9)$$

Тогда коэффициент теплоотдачи испарением с учетом стратификации равен

$$a_и=a_{и,о}*F(\Delta t) \quad (10)$$

Кроме того, предложена формула эффективного излучения Мкал/(м² * сут) [9]

$$I=1,065\cdot10^{-9}-T^4\cdot(0,254-0,0066\cdot e^2)(1-c_n\cdot n)+4,25\cdot10^{-9}\cdot T^3\cdot(t_{ср}-\theta) \quad (11)$$

где $T=(\theta+273,15)$, K.

Использование в уравнении теплового баланса зависимостей (7-11) позволяет в значительной мере уточнить результаты расчета водных объектов, где не очень большие перепады температур между входом и выходом, к которым можно отнести очистные сооружения картонно-бумажных предприятий.

С учетом полученных новых математических зависимостей составлено программное обеспечение для ЭВМ, которое позволяет моделировать процесс охлаждения сточной воды в очистных сооружениях предприятий.

В предлагаемой математической модели применительно к картонно-бумажным предприятиям не учитывается продолжительность пребывания элементарных частиц стока в очистных сооружениях, поскольку отвод тепла происходит преобладающим образом с водной поверхности и, кроме того, сточная вода в очистных сооружениях перемешивается механически, а также посредством конвективного подвода тепла к водной поверхности взамен отводимого в атмосферу. Величина теплообмена между водной массой и грунтом незначительна и ей можно в расчетах пренебречь.

С целью проверки достоверности полученных новых математических зависимостей и программного обеспечения выполнены натурные исследования работы очистных сооружений картонно-бумажного комбината в части их охлаждающей способности в январе месяце. Необходимо отметить, что очистные сооружения картонного производства состоят из двух контуров. Первый контур предназначен для механохимической очистки оборотной воды и состоит из четырех радиальных отстойников диаметром 24 м каждый. Второй контур предназначен для биологической очистки сточной воды перед ее сбросом в реку. Он включает в себя четыре радиальных отстойника первой ступени диаме-

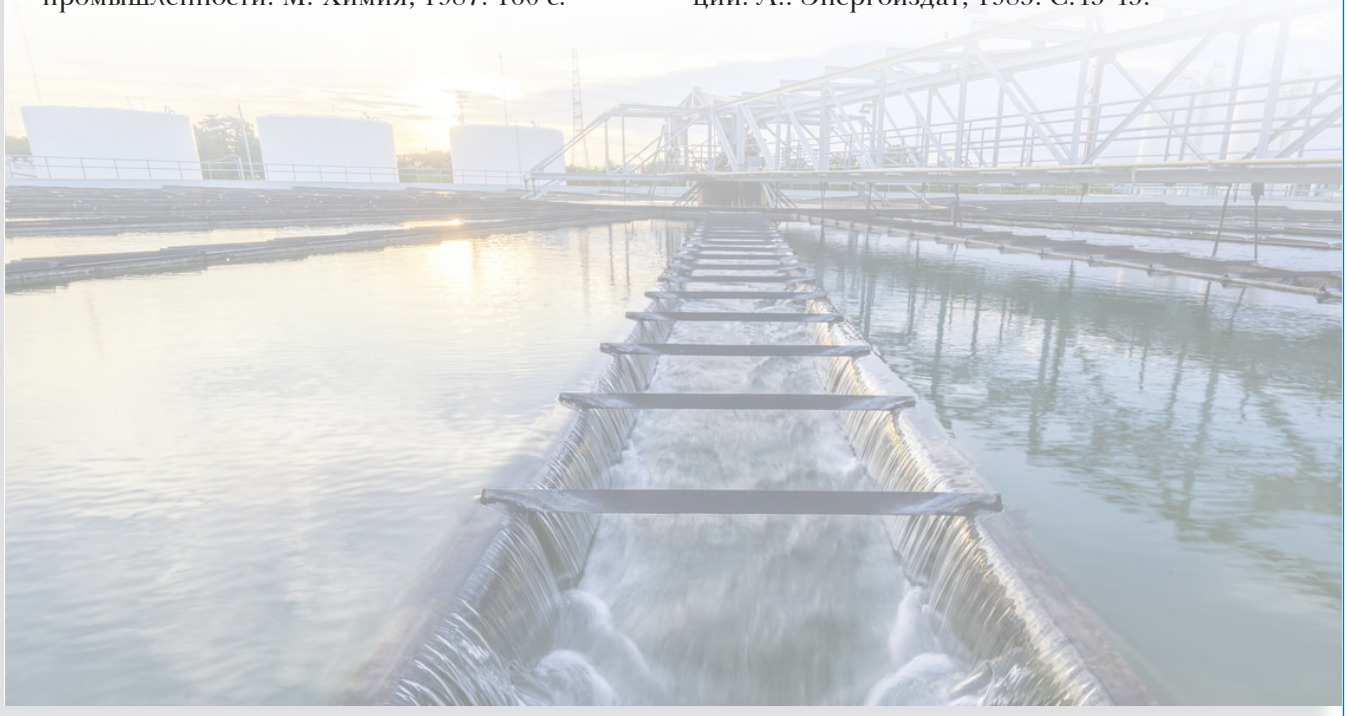
тром 24 м каждый, пять секций аэротенков по три коридора каждая (площадь одной секции 1700 м^2), четыре радиальных отстойника второй ступени диаметром 24 м каждый.

Измерения и прогнозируемые значения температуры сточной воды на выходе из сооружений очистки сточных вод хорошо согласуются между собой. Впоследствии аналогичная работа выполнена на другой картонной фабрике. Необходимо отметить, что весь комплекс очистных сооружений сточных вод фабрики, в состав которых входят отстойники механо-химической очистки общей площадью 2512 м^2 и две ступени аэротенков биологической очистки с первичными и вторичными радиальными отстойниками общей площадью 3650 м^2, в среднем охлаждают сточную воду в летний период на 1-2°С, в зимний – на 2-3°С. Следует подчеркнуть, что температурный перепад воды между входом на очистные сооружения и выходом из них для различных регионов страны и сезона года будет отличаться. Реальное значение температурного перепада может быть получено только после моделирования на ЭВМ конкретного объекта исследования.

Таким образом, построена математическая модель, апробирована методика, разработано программное обеспечение к ней, позволяющие выполнять расчеты охлаждающей способности очистных сооружений предприятий.

Литература

1. Ковалева Н.Г., Ковалев В.Г. Биохимическая очистка сточных вод предприятий химической промышленности. М. Химия, 1987. 160 с.
2. Бут Г.С., Синицын С.В. Математическая модель процесса аккумулирования тепловой энергии// Известия Института инженерной физики, 2020. №4(58). С.57-61.
3. Гребер Г., Эрк Б., Григуль У. Основы учения о теплообмене. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 566 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплоотдача. М.; Л.: Энергия, 1975. 486 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкостей и газа. М.: Наука, 1970. 904 с.
6. Берман Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. М.: Госэнергоиздат, 1957. 318 с.
7. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика: в 2-х ч. М.: Наука, 1965. Ч.1. 640 с.
8. Методические рекомендации к расчету водохранилищ-охладителей ТЭС. Л.: Мин-во энергетики и электрификации СССР, 1976. 54 с.
9. Никитин И. К., Костин А. Г., Доманов В. Н. Тепловой расчет водоема-охладителя с учетом трансформации и плотностной стратификации воздушного потока над его поверхностью // Тр. координационных совещаний по гидротехнике, 1977. Вып.115. С.79-85.
10. Матвеев Л. Г., Быкова Л. П. Таблицы значений упругости насыщения водяного пара над водой и льдом // Тр. Глав. геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова, 1967. Вып.202. С.125-134.
11. Костин А. Г., Доманов В. Н. Коэффициент теплоотдачи испарением для тепловых расчетов водоемов-охладителей // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Гидроаэротермические исследования и проектирование охладителей тепловых и атомных электростанций. Л.: Энергоиздат, 1985. С.43-45.



УДК.004.056.53

О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИНФОРМАТИЗИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ

ON THE DESIGN OF AN INFORMATION SECURITY SYSTEM FOR COMPUTERIZED WEAPONS

Вадим Геннадьевич Грибунин
доктор технических наук
главный научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (4967) 35-31-93

Ярослав Дмитриевич Смирнов
начальник отдела МОУ «ИИФ»

Руслан Леонидович Гришаненко
военнослужащий

Андрей Александрович Тимонов
военнослужащий

Аннотация
В статье приведены особенности информатизированного образца вооружения, как объекта защиты информации от несанкционированного доступа. Рассмотрен порядок предъявления требований и их реализация с привязкой к этапам разработки изделий. Предложен методический подход к выбору механизмов защиты и средств защиты информации.
Ключевые слова: безопасность информации, защищаемый ресурс, информатизированный образец вооружения, требования, механизмы, средства защиты информации.

Summary
The article presents the features of the informatized weapons, as an object of information protection from unauthorized access. The procedure for submitting requirements and their implementation with reference to the stages of product development is considered. A methodological approach to the choice of security mechanisms and information security tools is proposed.
Keywords: information security, protected resource, computerized weapon model, requirements, mechanisms, information protection means.

Информатизированные образцы вооружения, как объект защиты

В настоящее время в российской армии получают все большее распространение информатизированные образцы вооружения и военной техники (ИОВ) [1]. К таким изделиям относятся, например, робототехнические комплексы военного назначения, ракетные комплексы, бронетехника.

ИОВ включают в себя программно-аппаратные средства, общая структура которых похожа на структуру автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Например, ракетный комплекс оперативно-тактических ракет «Искандер» включает в себя объединенные в локальную сеть командно-штабную машину (КШМ) и самоходную пусковую установку (СПУ). В КШМ размещена вычислительная техника и рабочие места операторов комплекса. В СПУ размещены исполнительные механизмы и само оружие (ракеты).

Как известно, АСУ ТП включают в себя три уровня:

Нижний уровень – уровень оборудования. Это уровень сенсоров, измерительных устройств, контролирующих управляемые параметры, а также исполнительных устройств. На этом уровне осуществляется согласование сигналов датчиков с входами устройства управления, а вырабатываемых команд – с исполнительными устройствами. В комплексе «Искандер» этот уровень реализуется в СПУ, и он связан с непосредственным взаимодействием с ракетой. Этот уровень реализуется аппаратно.

Средний уровень – уровень управления оборудованием. Это уровень контроллеров (называемых обычно программируемыми логическими контроллерами – ПЛК), получающих информацию с измерительного оборудования, датчиков и выдающих команды управления в соответствии с запрограммированным алгоритмом управления на исполнительные механизмы.

В комплексе «Искандер» этот уровень также реализован в СПУ. Здесь уже функционируют программные средства, однако оператор отсутствует.

Верхний уровень – уровень сетевого оборудования, операторских и диспетчерских станций. В комплексе «Искандер» этому уровню соответствует командно-штабная машина. Внутри машины имеется коммуникационное оборудование, объединенные в локальную сеть серверы, компьютеры, рабочие места операторов. Оборудование этого уровня, с одной стороны, соединено с вышестоящими АСУ управления войсками и оружием, обеспечивая функционирование ИОВ в едином информационном пространстве войсковой группировки. С другой стороны, оборудование верхнего уровня обеспечивает контур управления самим ИОВ. На этом уровне задействован человек-оператор, осуществляющий контроль состояния оборудования, каналов связи, принимающий и передающий управляющие команды.

Подлежащая защите информация обрабатывается на всех уровнях ИОВ. При этом существуют особенности ИОВ, влияющие на обеспечение безопасности в нем. Перечислим эти особенности.

1. На среднем уровне ИОВ отсутствует оператор, а на нижнем уровне - и программная логика.

2. ИОВ должен функционировать в режиме реального времени, что влечет за собой обычно применение операционных систем реального времени.

3. ИОВ размещается на мобильной платформе, что влечет за собой особые требования по группе исполнения для всех компонентов, в том числе, для средств защиты информации.

4. Время непрерывного функционирования ИОВ обычно не превышает нескольких дней (например, соответствует времени армейской операции).

5. Конфиденциальность обрабатываемой информации, как правило, нужно обеспечивать только в пределах времени непрерывного функционирования. Как правило, и хранить информацию дольше нет необходимости.

6. С учетом боевого предназначения ИОВ, обычно обеспечение целостности и доступности информации имеет большее значение, чем обеспечение ее целостности.

7. В модели нарушителя (который в случае с ИОВ может быть противником) необходимо учитывать «необычные» угрозы, например, отказ части оборудования ввиду его поражения огневыми средствами.

В силу всех этих особенностей задание требований по безопасности информации и их реализация является нетривиальной задачей. Рассмотрим кратко основные нормативно-правовые акты, регламентирующие задание требований по безопасности информации (НПА).

Обзор нормативно-правых актов, задающих требования безопасности информации

Среди НПА можно выделить три группы документов:

1) Руководящие документы, выпущенные Гостехкомиссией России [2-4] – РД ФСТЭК. Иногда на эти документы ссылаются как на «старую» нормативную базу.

2) Стандарты и руководящие документы, выпущенные в рамках методологии «Общих критериев» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408) [5-8]. Иногда на эти документы ссылаются как на «новую» нормативную базу.

3) Приказы ФСТЭК России, регламентирующие защиту информации для некоторых типов автоматизированных систем: обрабатывающих персональные данные [9], критической информационной инфраструктуры [10, 11], государственных информационных системах [12], АСУ ТП [13].

Документы первой группы регламентируют требования безопасности информации для автоматизированных систем и их составных частей – средств вычислительной техники. Недостатком этих документов для их использования при задании требований безопасности информации к ИОВ является отсутствие гибкости в требованиях. Это не позволяет учесть особенности построения и эксплуатации ИОВ, приводит к тому, что приходится реализовывать отдельные неактуальные требования. С другой стороны, так как учитываются обобщенные угрозы, актуальные на момент создания РД ФСТЭК (1992 год), то существует риск того, что многие актуальные требования будут пропущены.

Документы второй группы свободны от вышеперечисленных недостатков. В соответствии с методологией ГОСТ 15408, разработчик формулирует цели безопасности, как для самого изделия, так и для среды его функционирования. При выборе механизмов безопасности выполняется доказательство того, что все цели безопасности достигнуты, а идентифицированные угрозы – парированы. Это позволяет обоснованно предъявить требования. В документах этой группы также сделан переход от неформализованных требований безопасности информации к формализованным, совокупность которых от-

ражается в профилях защиты и заданиях по безопасности.

Вместе с тем, основной сценарий использования изделия, разработанного в соответствии с ГОСТ 15408 – продажа на свободном рынке. Создаваемое разработчиком задание по безопасности направлено на определение потенциальными потребителями преимуществ данного изделия по сравнению с другими. При этом, для снижения стоимости изделия разработчик может прибегать, например, к таким ухищрениям, как умышленный отказ от рассмотрения тех или иных угроз, формулирование «облегченных» целей безопасности. Все это снижает реальную безопасность изделия, но трудно для выявления потребителем.

Из документов третьей группы наиболее близким к тематике защиты информации в ИОВ является приказ ФСТЭК [13]. Однако, существует ряд причин, по которым он не может быть напрямую использован для задания требований безопасности информации в ИОВ:

1) данный документ не распространяется на системы, в которых обрабатывается информация, составляющая государственную тайну;

2) документ ориентирован на использование при разработке стандартов 34 серии;

3) ИОВ, как объект защиты, имеет рассмотренные выше особенности, отличающие его от АСУ ТП.

Поэтому задача разработки методики задания требований безопасности информации для ИОВ и их дальнейшей реализации является актуальной. На разработку данной методики большое влияние имеет процесс разработки ИОВ. Рассмотрим порядок создания ИОВ в соответствии с требованиями нормативных документов.

Особенности разработки ИОВ в ходе выполнения ОКР

Разработка ИОВ ведется, как правило, в ходе выполнения ОКР в соответствии со стандартами СРПП [14].

Требования безопасности информации задаются в тактико-техническом задании (ТТЗ) на выполнение ОКР. ТТЗ разрабатывает Заказчик работы с участием соответствующего научно-исследовательского учреждения (НИУ). Требования безопасности информации приводятся в ТТЗ в наиболее общем виде, например, «должна быть обеспечена конфиденциальность всей обрабатываемой информации». Также в ТТЗ могут быть приведены в качестве требований и отдельные механизмы защиты. Например, может быть указано на необходимость криптографической защиты информации. В ТТЗ могут быть требования о применении каких-либо типов СЗИ, как правило, без указания конкретных моделей.

Конкретизация требований безопасности информации, разработка механизмов защиты и выбор конкретных моделей СЗИ осуществляется на этапах эскизного и технического проектирования. Формально на этом проектирование заканчивается и далее осуществляется реализация разработанных решений, в программном и/или аппаратном исполнении, а также закупка и интеграция покупных СЗИ. На практике же на

Таблица 1

Выработка требований, выбор механизмов защиты и средств защиты информации на этапах ОКР

Этап разработки	Тип требований	Кто разрабатывает	Механизмы защиты	Средства защиты информации
ТТЗ	Общие	Заказчик НИУ Заказчика	В общих чертах для отдельных требований	Отдельные типы
Эскизный проект	Неглубокая конкретизация	Разработчик Комиссия Заказчика	В общих чертах для всех требований	Предварительный выбор моделей
Технический проект	Конкретные	Разработчик Комиссия Заказчика	Разрабатываются полностью	Окончательный выбор моделей
Разработка РКД	Уточнение	Разработчик	Уточняются	Уточнение моделей
ИО и проведения ПИ	+	Разработчик	+	+
ГИ	+	Комиссия Заказчика Разработчик	+	+
Сертификация	+	Испытательная лаборатория	+	+
Доработка по бюллетеням	+	Заказчик Разработчик	+	+

всех этапах разработки и в процессе эксплуатации изделия происходит дальнейшее уточнение как предъявляемых требований, так и механизмов защиты, а также используемых СЗИ, как это представлено в *таблице 1*.

Формализация процесса задания требований безопасности информации, выбора механизмов защиты и СЗИ

Формализовать процесс задания требований безопасности информации, выбора механизмов защиты и СЗИ предлагается следующим образом.

В составе ИОВ выделяется защищаемый ресурс (ЗР). К ЗР относится обрабатываемая информация, средства ее обработки, передачи, хранения. ЗР можно представить в виде множества $\{Z_1, Z_2, \ldots, Z_N\}$. Для каждого из ЗР определяются свойства безопасности информации, которые нужно достигнуть, выбирая их из множества (конфиденциальность, целостность, доступность – КЦД). Каждому свойству экспертом приписывается относительная важность $\{a,b,c\}$, где коэффициенты a,b,c являются вещественными числами, $a,b,c \in \overline{0,1}$ отображают важность для Z_i того или иного свойства безопасности.

Например, вектор свойства безопасности для некоторого защищаемого ресурса Z_i может иметь вид: $\{0.3,0.6,0.9\}_{Zi}$.

Далее выполняется моделирование нарушителя и угроз безопасности. В отношении ИОВ целесообразно предположить, что нарушитель обладает наиболее высоким потенциалом и способен проводить целенаправленные атаки с использованием, в том числе, при помощи специально разработанных для этого средств. При моделировании угроз можно использовать различные методологии. ФСТЭК России опубликована методика определения угроз только для систем, обрабатывающих персональные данные [15]. В качестве исходного материала для анализа можно использовать БДУ ФСТЭК [16], недостатком которой является отсутствие связи между угрозой и путями ее реализации нарушителем, что затрудняет выбор механизмов защиты. Этого недостатка лишена методология MITRE [17].

После получения множества возможных угроз оценивается их влияние на свойства КЦД каждого ЗР. Реализация той или иной угрозы приводит к уменьшению коэффициентов $\{a,b,c\}$ вплоть до нуля. Для каждого коэффициента каждого ЗР экспертом выбирается порог, в случае если значение коэффициента при реализации угрозы становится меньше порога, угроза считается актуальной.

Для парирования актуальных угроз выбираются механизмы защиты для ее парирования из множества механизмов защиты $\{M_1,M_2,\ldots,M_L\}$. Отношение между множеством актуальных угроз и множеством механизмов защиты – «многие ко многим» (M:M), то есть некоторый механизм защиты может парировать несколько угроз, и некоторые угрозы могут быть парированы совокупностью механизмов защиты. Поэтому после первоначального определения множества механизмов защиты выполняется его редукция, с целью минимизации элементов множества.

При редукции все механизмы защиты упорядочиваются по убыванию количества парируемых ими угроз, и производится отбор механизмов защиты до тех пор, пока все угрозы не будут парированы.

Здесь не учитывается вероятностный характер реализации угроз в виде атак, а также вероятностный характер отражения этих атак СЗИ, реализующими механизмы защиты. Считается, что если угроза имеется, то соответствующая атака состоится (наихудший случай). С другой стороны, считается, что если для какого-либо СЗИ заявлена реализация некоторого механизма защиты, то этот механизм защиты срабатывает во всех случаях, так как СЗИ прошли соответствующие испытания и имеют сертификаты соответствия требованиям безопасности информации.

После того, как получено редуцированное множество необходимых механизмов защиты, осуществляется выбор типов СЗИ. Отношение между множествами механизмов защиты и множеством типов СЗИ – M:M.

Внутри каждого типа определяется полный перечень СЗИ, имеющихся на рынке. После этого осуществляется предварительный выбор пригодных для использования СЗИ по таким критериям, как наличие у них сертификатов соответствующего уровня, форм-фактор. Важным показателем для мобильных ИОВ является наличие необходимой группы исполнения у выбираемого аппаратно-программного СЗИ. После предварительного отбора получаем совокупность множеств СЗИ, где каждое множество соответствует тому или иному типу СЗИ.

Пусть типы СЗИ принимают значения из множества $\{T_1,T_2,\ldots,T_K\}$. Тогда множество пригодных СЗИ состоит из следующей композиции множеств пригодных СЗИ каждого типа:

$$\{S_1^{T_1},S_2^{T_1},\ldots,S_p^{T_1}\}\{S_1^{T_2},S_2^{T_2},\ldots,S_R^{T_2}\}\{S_1^{T_K},S_2^{T_K},\ldots,S_O^{T_K}\}$$

После получения совокупности множеств предварительно отобранных пригодных для применения СЗИ осуществляется многокритериальный выбор конкретной модели СЗИ внутри каждого множества. При этом могут использоваться различные частные показатели качества СЗИ (например, стоимостные, массогаба-

ритные показатели, соответствие общей технической политике Заказчика), различные методы их свертки.

В случае, если после предварительного отбора множество СЗИ того или иного типа оказалось пустым, исходя из сроков, затрат и наличия компетенции принимается либо решение о разработке нового СЗИ, либо о совместной с вендором аналогичного СЗИ его доработке под заданные требования.

Таким образом, весь процесс получения множества необходимых СЗИ, парирующих идентифицированные угрозы безопасности, можно представить следующим образом (*рисунок 1*).

Процесс, отображенный на *рисунке 1*, является итеративным. На этапах разработки, показанных в *таблице 1*, могут быть выявлены:

- новые ЗР;
- изменения требуемых свойств безопасности для существующих ЗР;

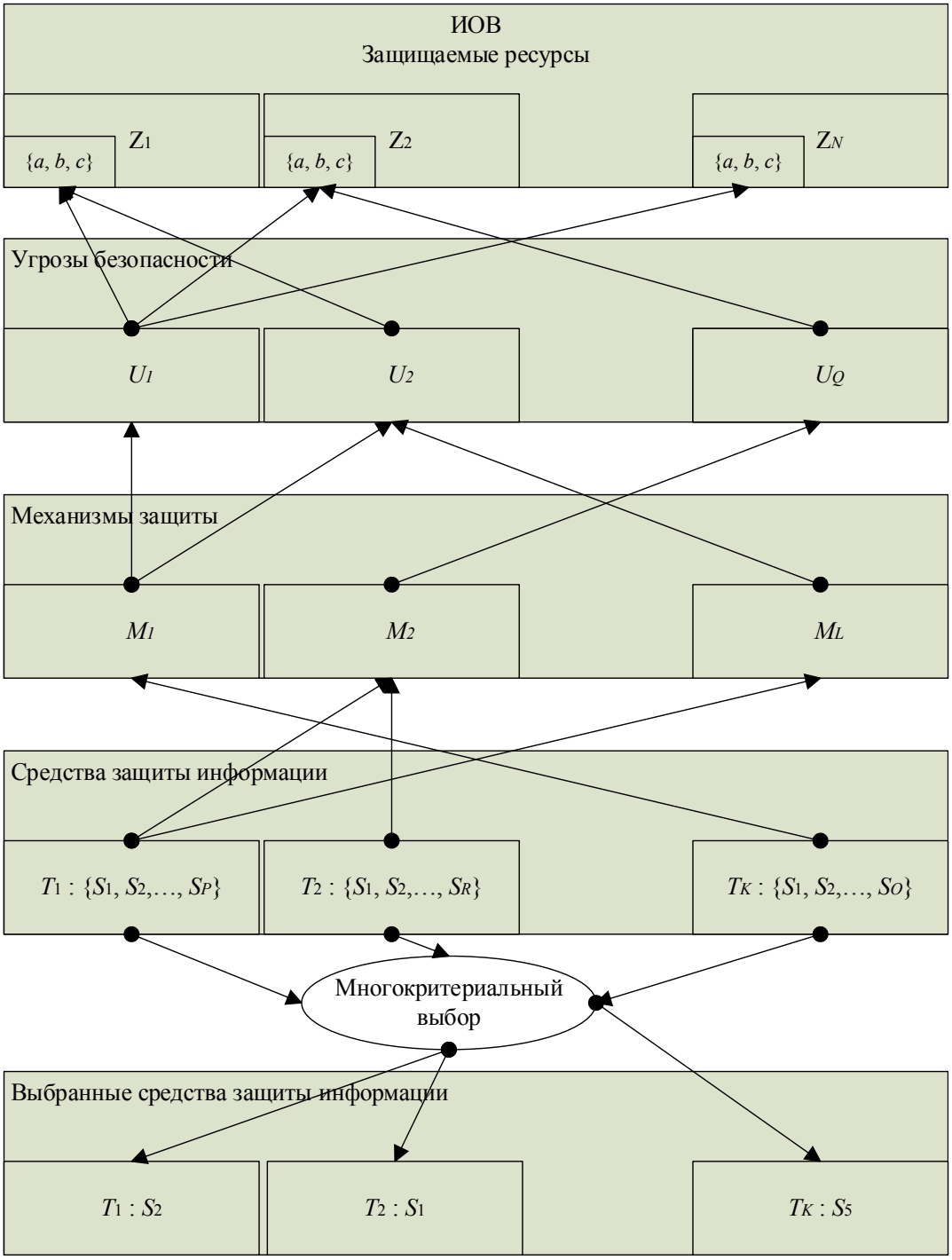


Рис. 1. Процесс получения множества необходимых СЗИ, парирующих идентифицированные угрозы безопасности

● новые угрозы безопасности.

На основе этих вновь выявленных фактов производится изменение выбора механизмов защиты и реализующих их средств защиты информации. Этот процесс по отношению к ИОВ осуществляется на всем протяжении жизни изделий.

Литература

1. Тасбулатов А.Б., Орлянский В.И. Разработка современной классификации видов и средств поражения – неотложная задача военной науки // Военная мысль, 2007. № 4. С.55-61.
2. Руководящий документ. Концепция защиты средств вычислительной техники и автоматизированных систем от несанкционированного доступа к информации. Гостехкомиссия России, 1992 г.
3. Руководящий документ. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации. Гостехкомиссия России, 1992 г.
4. Руководящий документ. Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации. Гостехкомиссия России, 1992 г.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2012. Информационная технология (ИТ.) Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Части 1,2,3. М.: Стандартинформ, 2014 г.
6. ГОСТ Р 57628-2017. Информационная технология (ИТ.) Методы и средства обеспечения безопасности. Руководство по разработке профилей защиты и заданий по безопасности. М.: Стандартинформ, 2017 г.
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045-2013. Информационная технология (ИТ.) Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных технологий. М.: Стандартинформ, 2014 г.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 19791-2008. Информационная технология (ИТ.) Методы и средства обеспечения безопасности. Оценка безопасности автоматизированных систем. М.: Стандартинформ, 2014 г.
9. Приказ ФСТЭК России № 21 от 18.02.2013 г.
10. Приказ ФСТЭК России № 235 от 21.12.2017 г.
11. Приказ ФСТЭК России № 239 от 25.12.2017 г.
12. Приказ ФСТЭК России № 17 от 11.02.2013 г.
13. Приказ ФСТЭК России № 31 от 14.03.2014 г.
14. ГОСТ Р 15000-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Основные положения.
15. Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. М.: ФСТЭК России, 2008.
16. Интернет-ресурс. Режим доступа: bdu.fstec.ru.
17. Интернет-ресурс. Режим доступа: attack.mitre.org.

УДК 004.4

ОЦЕНКА СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМА ХРАНЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

METHOD OF IDENTIFYING MANEUVERING SPACECRAFT BASED ON NEURAL NETWORK CLASSIFICATION OF RADAR IMAGES

Екатерина Андреевна Соколова
кандидат технических наук
старший научный сотрудник НИО
ФГАУ «Военный инновационный
технополис «ЭРА»
Адрес: 353456, Краснодарский край,
г. Анапа, Пионерский пр., д. 41
Тел.: +7 (918) 827-67-36
E-mail: katya_sea@mail.ru

Надежда Андреевна Юшкевич
специалист по планированию
отдел планирования НИОКР
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (496) 735-31-93
E-mail: nad1995@mail.ru

Аннотация
В работе проверяются скоростные характеристики алгоритма хранения трехмерных объектов.
Ключевые слова: алгоритм, визуализация, сложный пространственный объект, хранение данных.

Summary
The paper checks the speed characteristics of the storage algorithm for three-dimensional objects.
Keywords: algorithm, data storage, visualization, complex spatial object.

Введение

При обработке различных сложных пространственных объектов вопросы хранения данных имеют особенно важное значение. В некоторых случаях необходимо осуществлять хранение данных без потерь какой-либо информации об объекте, а также иметь возможность дальнейшей обработки информации.

Возникает противоречие – необходимость уменьшения объема данных о пространственных объектах и необходимость дальнейшей обработки информации об объекте и отсутствие артефактов (искажений) для возможной наискорейшей передачи объекта по каналам связи.

Существующие алгоритмы сжатия изображений дву- и трехмерные не решают обозначенное выше противоречие. Не существует универсального решения, реализованного программно. Следовательно, одна из основных проблем в области хранения данных [2,3] сложных пространственных объектов, это разрешение противоречия – возможности уменьшения объема памяти (следовательно, быстрая передача) при хранении сложного пространственного объекта и отсутствие артефактов (искажений) с возможностью дальнейшей обработки информации об объекте без потерь. Учитывая вышесказанное, одним из эффективных способов решения противоречия является такой показатель, как скоростные характеристики, на основании которых разрабатываются методы сжатия, которые работают без потерь данных [6].

Скоростные характеристики алгоритма

В *таблице 1* приводится информация о времени работы алгоритма, который реализован в программном продукте.

Для проведения анализа был использован ПК со следующими характеристикам: Intel(R) Core (TM)i5 CPU M460 2.53GHz ОЗУ 4 Гб.

Как видно из *таблицы 1*, время работы алгоритма вполне эффективно относительно других форматов.

Далее необходимо произвести анализ по распределению облака точек при анализе объекта. В зависимости от выбранных параметров был проведен анализ работы алгоритма [4] (*таблица 2*) в зависимости от выбранного распределения точек.

Таблица 1
Время работы алгоритма

Порядковый номер объекта из случайной выборки	Время сохранения формата, мс		
	*.OBJ	*.3DS	*.KFG
15	10	11,2	9,8
11	4,5	5,6	4,6
47	2,3	7	2
5	6,8	7,6	3,5
94	13,8	15,3	12,6

Таблица 2
Время работы алгоритма

Выбираемые параметры	Распределение точек		Время выполнения операции, мс
4	двумерное *t*-распределение		1,7
5	двумерное нормальное распределение		2,9
7	смесь двумерных нормальных распределений	2 компоненты	6,5
16		4 компоненты	10
28		6 компонент	13,7
38		8 компонент	21,1
46		10 компонент	23,7
58		12 компонент	29,3
88		16 компонент	40,0

Анализ информации в *таблице 1* и *таблице 2* показал, что время, которое затрачивается на операцию сохранения, и время, которое затрачивается на подсчет распределения облака точек, гораздо ниже, чем у других форматов OBJ, 3DS.

Также можно подчеркнуть, что прямое восстановление информации облака точек благодаря анализу таблицы текстурных координат выполняется с помощью системы [2-4], а также распределением точек кодированием бинарного дерева [5].

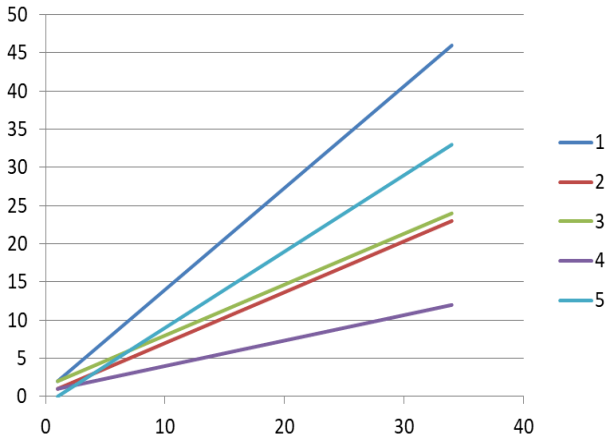


Рис. 1. Алгоритм сохранения изображений с использованием сжатия без потерь:
1 – двумерное *t*-распределение; 2 – двумерное нормальное распределение; 3 – смесь двумерных нормальных распределений: 2 компоненты; 4 – смесь двумерных нормальных распределений: 4 компоненты; 5 – смесь двумерных нормальных распределений: 6 компонент

Время расчета напрямую зависит от количества точек (*рисунок 1*).

Как следует из графиков, при малом числе анализируемых точек заметно возрастание скорости. Двумерные распределения позволяют вычислять плотность облака точек в конкретно заданных координатах трехмерной модели.

Заключение

Подводя итог, можно отметить, что предлагаемые алгоритмы, модели и способы позволяют сохранять изображения трехмерных объектов с меньшим размером высокого качества без артефактов (искажений). Двумерные распределения позволяют вычислять плотность облака точек в конкретно заданных координатах трехмерной модели.

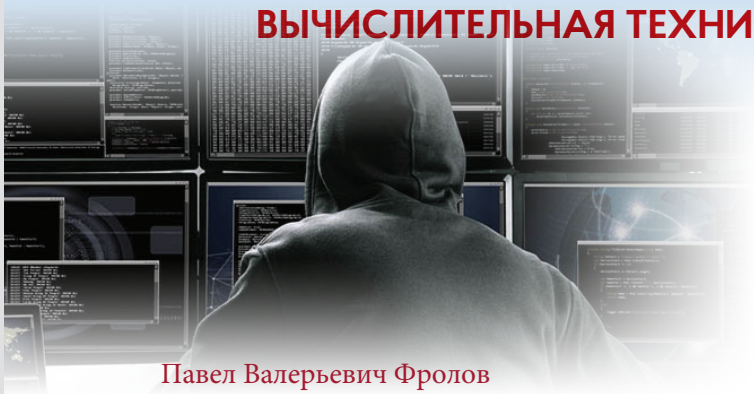
Установленные закономерности в обработке трехмерных изображений, в том числе полученных в результате 3D-сканирования, позволяют эффективно реализовать известные методы группового кодирования для уменьшения объема сохраняемого файла без потерь качества.

Разработанный алгоритм позволяет сохра-

нять трехмерные изображения без потерь качества с минимальным размером по сравнению с аналогами.

Литература

1. Lu L., Sharf A., Zhao H., Wei Y., Fan Q., Chen X., Savoye Y., Tu C., Cohen-Or D., Chen B.Build-to-last: strength to weight 3d printed objects // ACM Transactions Graphics, 2014. №33(4), p. 97.
2. Sokolova E.A., Dzhioev G.A. Development of an algorithm for automated enhancement of digital prototypesinmachineengineering//IOPConference Series: Materials Science and Engineering 10. Series «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2016», 2017. pp. 1-6. WOS: 000403409000037, doi:10.1088/1757-899X/177/1/012037.
3. Кумаритов А.М., Соколова Е.А., Соколов А.А. Геоинформационная система мониторинга экологической обстановки в районе внутригородских промышленных объектов // Горный журнал, 2016. № 2. С.94-97. doi: 10.17580/gzh.2016.02.18.
4. Соколова Е.А. Использование теоретико-множественного подхода для поиска необходимого контента по атрибутам и ключевым словам // Фундаментальные исследования, 2013. №8-6. С.1360-1363.
5. Соколова Е.А. Разработка метода сохранения пикселей в массив с дифференциацией на цветовые компоненты // Международный научно-исследовательский журнал, 2017. №8(62). С.58-63.



УДК 004.056.53

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПРИЗНАКОВ СЕТЕВЫХ АТАК В СИСТЕМАХ IDS

APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR STORING SIGNS OF NETWORK ATTACKS IN IDS SYSTEMS

Павел Валерьевич Фролов
аспирант
кафедра «Защита информации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 598-45-81
E-mail: HAN-92@mail.ru

Елизавета Алексеевна Галуза
студент магистратуры
кафедра «Системы обработки информации»
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 705-06-09
E-mail: lizagaluza@gmail.com

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

Георгий Владимирович Леоновец
кандидат военных наук
доцент
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Адрес: 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1
Тел.: 8 (926) 118-00-62
E-mail: leonovec-lev@yandex.ru

Сергей Александрович Дюжов
преподаватель кафедры №7 Связи ВУЦ
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2
Тел.: 8 (910) 918-62-38
E-mail: duzhov@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются проблемы хранения признаков сетевых атак в системах обнаружения вторжений. Приведены требования к распределенным системам хранения данных, позволяющих решить поставленную задачу. Рассмотрено применение технологии Blockchain для хранения сигнатур сетевых атак. Приведены основные преимущества применения Blockchain. Приведена схема взаимодействия анализаторов при распределенном хранении признаков атак с помощью Blockchain. Так же в статье рассматривается возможность хранения атак при многоуровневом анализе, что порождает необходимость вести 3 цепочки сигнатур для каждого уровня анализа.

Ключевые слова: информационная система, IDS, Blockchain, система хранения данных, сигнатуры атак, уровни анализа пакетов, многоуровневый анализ.

Summary

This article discusses the problems of storing signs of network attacks in intrusion detection systems. The requirements for distributed data storage systems, allowing to solve the problem. The application of Blockchain technology for storing network attack signatures is considered. The main advantages of using Blockchain are given. A diagram of the interaction of analyzers with distributed storage of attack signs using Blockchain is presented. The article also discusses the possibility of storing attacks during multilevel analysis, which creates the need to maintain 3 chains of signatures for each level of analysis.

Keywords: information system, IDS, Blockchain, data storage system, attack signatures, packet analysis levels, multilevel analysis.

Введение

Повышение мобильности и доступности современных глобальных сетей порождает новые проблемы в сфере безопасности. Поэтому актуальной задачей в современных компьютерных сетях является противодействие хакерским атакам.

Системы IDS являются одним из наиболее распространенных средств обеспечения защиты в информационных системах (ИС). В небольших ИС, построенных на базе одной общей локальной вычислительной сети (ЛВС), как правило, достаточно одного или нескольких анализаторов, а признаки сетевых атак хранятся централизованно. Однако если крупномасштабная ИС имеет территориальное и логическое распреде-

ление и состоит из множества разнородных сетей и подсетей, то возникает необходимость использования большого количества анализаторов. При этом, существует актуальная проблема распределенного хранения признаков сетевых атак, так как централизованный анализ траффика или хранение сигнатур атак может значительно повысить затрачиваемые ресурсы и время реагирования на сетевые атаки.

Цель исследования

Целью данной работы является рассмотрение возможности применения технологии Blockchain для хранения признаков сетевых атак в системах обнаружения вторжений (IDS).

Основная часть

Процесс распределенного хранения признаков сетевых атак должен соответствовать требованиям безопасности: сохранять целостность и доступность данных, отказоустойчивость, защиту от перехвата и модификации сигнатур атак злоумышленником. Анализаторы IDS должны иметь возможность быстро и эффективно реплицировать изменения в базе признаков сетевых атак. Например, если один из анализаторов выявил сигнатуру новой атаки, остальные анализаторы должны иметь возможность быстро получить доступ к информации о ней.

Кроме того, одной из основных проблем построения распределенных систем хранения данных (РСХД) для IDS остается задача обеспечения их продолжительного функционирования, надежность, т.е. работа системы без сбоев в определенных условиях в течение определенного времени [3].

Используемая РСХД должна быть легко масштабируемой, способной справляться с увеличением рабочей нагрузки (увеличивать свою производительность) при добавлении новых сегментов сети с анализаторами IDS [6].

Одним из способов решения проблемы распределенного хранения признаков сетевых атак в системах IDS является применение технологии Blockchain, которая зарекомендовала себя как одна из самых перспективных, быстро развивающихся и используемых на сегодняшний день.

К преимуществам применения данной технологии в IDS можно отнести:

- Децентрализованность и распределенность технологии Blockchain позволит организовать хранение признаков сетевых атак для ИС любых масштабов, даже самых крупных. Благодаря распределенности, каждый анализатор хранит у себя локальную копию базы сигнатур, что повышает скорость работы анализатора, т.к. нет необходимости обращаться за признаками атак по сети. Данная особенность позволяет обнаруживать вторжения в режиме реального времени без задержек.
- Вся база сигнатур сетевых атак является общей для всех анализаторов. При выявлении сигнатуры новой сетевой атаки, она добавляется в базу и становится доступной для всех анализаторов в ИС.
- Масштабируемость системы. При добавлении новых анализаторов IDS в сети, они становятся участниками сети Blockchain и автоматически подхватывают актуальную базу признаков сетевых атак, создавая свою локальную копию.
- Невозможность изменить уже добавленные признаки атак обеспечивает безопасность и защищенность РСХД. Подлинность базы сигнатур в системе проверяют все участники сети Blockchain (в данном случае участниками сети являются сами анализаторы). В случае подмены данных хотя бы на одном из анализаторов, вся цепочка сигнатур, хранящаяся у него локально, становится недействительной, автоматически удаляется и загружается ликвидная база из Blockchain. Администратору ИС сообщается об попытке несанкционированного воздействия на анализатор и систему IDS.
- Открытость и прозрачность технологии Blockchain позволяют Администратору сети ИС отслеживать текущее состояние системы в режиме реального времени, оперативно реагировать на внештатные ситуации и вести журнал событий.

База сигнатур сетевых атак распределяется на всем множестве анализаторов системы IDS, разбросанных по всей ИС. На *рисунке 1* приведена общая структура РСХД, основанная на технологии Blockchain. Вероятность, что все анализаторы будут выведены из строя, ничтожна мала,

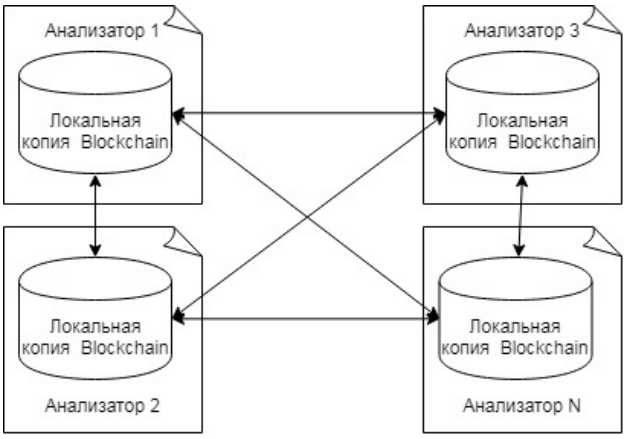


Рис. 1. Общая структура РСХД на основе технологии Blockchain

особенно при большом масштабе ИС. Пока хотя бы один Анализатор работает, РСХД, основанная на Blockchain, существует и способна вернуться в рабочее состояние в случае каких-либо сбоев или действий злоумышленников.

В ходе работы анализаторов IDS, интеллектуальные алгоритмы, на которых они основаны, могут выявить новые типы сетевых атак и сформировать их сигнатуры. При появлении нового признака атаки в РСХД добавляется новый блок данных. Каждый вновь созданный блок содержит один или группу однородных признаков сетевых атак, а также заголовок. Вся информация хэшируется.

Когда блок сформирован, он проверяется другими участниками сети, после чего добавляется к концу цепочки. Внести в него изменения уже невозможно. Блок хранят в зашифрованном виде данные о предыдущих блоках, где хранятся сигнатуры атак. Работа сети базируется на строгих математических вычислениях. Данные шифруются с помощью алгоритма шифрования с использованием хеш-функций, цифровой подписи, что позволяет не оставлять незамеченным подмену данных. База автоматически обновляется на всех подключенных к системе анализаторах. При выполнении атаки придется исправить все зависящие друг от друга блоки, а также копии базы на всех анализаторах. Процесс формирования цепочки представлен на *рисунке 2*.

При многоуровневом режиме работы анализаторов, данные обрабатываются на каждом

Рис. 2. Процесс формирования цепочки сигнатур атак

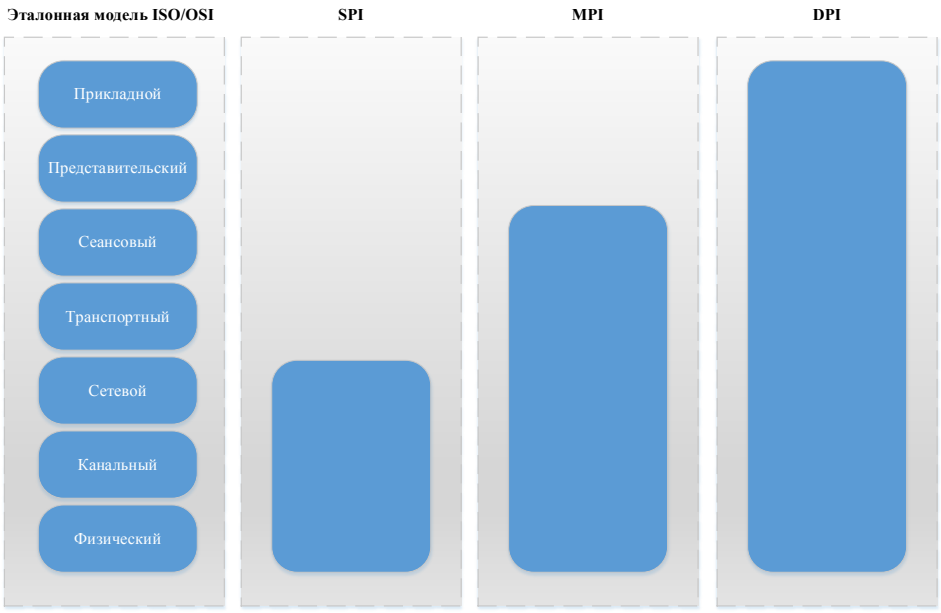


Рис. 3. Уровни анализа пакетов

из уровней абстракции: поверхностный анализ сетевых пакетов (SPI), средний анализ (MPI) и глубокий анализ (DPI). На рисунке 3 приведены уровни анализа пакетов. Для каждого из этих типов анализа необходимы разнородные данные. Например, для SPI необходимы заголовки пакетов, а в ходе DPI происходит обработка всего прикладного содержимого пакетов. Это означает, что для каждого уровня анализа должен быть свой набор признаков сетевых атак, поэтому возникает необходимость хранить параллельно 3 базы сигнатур. Технология Blockchain позволяет решить данную проблему путем создания 3-х несвязанных цепочек.

Заключение

Технология Blockchain удовлетворяет всем необходимым требованиям, предъявляемым к РСХД для хранения признаков сетевых атак. Применение данной технологии позволит повысить безопасность, защищенность, надежность и обеспечить масштабируемость процесса хранения базы сигнатур сетевых атак.

В настоящее время производится математическое моделирование процесса хранения признаков сетевых атак в системах IDS с применением технологии Blockchain. Моделирование процесса хранение данных позволит сделать качественные и количественные выводы о применимости Blockchain в IDS. Следующим этапом будет практическая реализация предложенного метода.

Литература

1. Климов С.М., Сычев М.П., Астрахов А.В. Противодействие компьютерным атакам. Методические основы / Электронное учебное издание. http://wwwcdl.bmstu.ru/iu10/comp-atak-metod.htm
2. Атаманов Ю.С., Гончарук В.С., Гордеев С.Н. Целостность данных в реляционной модели данных// Молодой ученый, 2017. №16(150). С.124-125. http://www.e-biblio.ru/book/bib/01_informatika/bazy_dannyx/sg.html
3. Синицын С.В. Верификация программного обеспечения: учебное пособие / С.В. Синицын, Н.Ю. Налютин. 2-е изд. М.: ИНТУИТ, 2016. 445 с. Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»: [сайт]. URL: https://e.lanbook.com/book/100665 (дата обращения: 05.10.2019). Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Смирнов А.П. Основы теории надежности систем : учебное пособие. М.: МИСИС, 2018. 118 с. Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» Вячеслав Ковалев: [сайт]. URL: https://e.lanbook.com/book/108053 (дата обращения: 05.10.2019). Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Ковалев В.А. Безопасность в системах хранения данных. Журнал сетевых решений/ LAN, 2005. №07. https://www.osp.ru/lan/2005/07/140778.
6. Что такое технология Блокчейн? https://coinpart.store/sovety/chto-takoe-tehnologiya-blokchejn.
7. Скворцов М. А. Разработка методики выявления сетевых атак с помощью Data Mining // Молодой ученый, 2016. №10. С.87-89.

УДК 004.056

О ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

ABOUT THE POSSIBILITY AND PROSPECTS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IN THE CREATION OF INFORMATION SECURITY SYSTEMS

Дмитрий Владимирович Грачёв
начальник лаборатории
ФГБУ «27 ЦНИИ» МО РФ
Адрес: 125284, Москва,
1-й Хорошевский проезд, д. 5
Тел.: 8 (495) 945-77-80

Евгений Валерьевич Умников
ведущий инженер
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская область,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1 А
Тел.: +7 (4967) 35-31-93
e-mail: info@iifmail.ru

Аннотация
В статье описаны основные подходы информационной безопасности и особенности средств защиты информации содержащей сведения, составляющие государственную тайну. Рассмотрены возможности и целесообразность использования технологии искусственного интеллекта в данном направлении.
Ключевые слова: системы защиты информации, искусственный интеллект, несанкционированный доступ, информационная безопасность.

Summary
The article describes the main approaches to information security and the features of the means of protecting information containing information that constitutes a state secret. The possibilities and expediency of using artificial intelligence technology in this direction are considered.
Keywords: information security systems, artificial intelligence, unauthorized access, information security.

Введение

Технологиями искусственного интеллекта (ИИ) в широком плане принято называть программное обеспечение и программно-аппаратные комплексы, способные выполнять задачи, для осуществления которых обычно используются когнитивные способности человека – распознавание звуковых и визуальных образов, другой сенситивной информации и принятие на ее основе аналитических решений, начиная от простого реагирования и заканчивая формированием сложных логических выводов, осуществлением прогнозирования на основе имеющихся данных и т.п.

Технологии ИИ опираются на все более расширяющиеся возможности автоматизированного распознавания образов, накопления больших объемов информации об окружающей действительности и способность компьютерных систем к «самообучению», а так же возможности специально созданных сред для программирования определенных правил принятия решений. Ключевым отличием «современных» технологий ИИ от «традиционных» решений, реализовывавшихся ранее, является способность ИИ, при решении задач, не опираться на разнообразные логические схемы, заданные программистами изначально, а самостоятельно формировать последовательность принятия решений на основе текущих данных и критических условий, поставленных программистами.

При оценке возможности и целесообразности использования технологий искусственного интеллекта при создании перспективных средств защиты информации (СЗИ) следует, в первую очередь, учитывать специфические особенности создания систем и средств защиты информации, содержащей сведения, сопоставляющие государственную тайну.

Основные проблемы, пути создания и особенности СЗИ для систем специального назначения

Система защиты информации – это совокупность организационных мер и программно-технических средств, направленных на защиту хра-

нимой, обрабатываемой и передаваемой информации от несанкционированного доступа (НСД). Функциональность СЗИ направлена на предотвращение или максимальное затруднение несанкционированных действий в обход заданных правил доступа, реализованных штатными процедурами информационной системы. Средства защиты информации являются составной частью средств вычислительной техники и автоматизированных систем в виде совокупности программного и технического обеспечения, реализующего специфический функционал и необходимые алгоритмы для защиты информации.

Существующие информационные автоматизированные системы (АС) специального назначения, использующие средства вычислительной техники, используют различные аппаратно-программные платформы, для которых характерны территориальная распределенность узлов и подсистем, широкое использование открытых сетей передачи данных общего коммерческого назначения, как проводных, так и беспроводных. Требования к таким автоматизированным системам предъявляются особые. Основная масса данных требований по классификации СЗИ, проектированию и эксплуатации, отражена в нормативных документах государственных уполномоченных органов – ФСТЭК (ранее - Гостехкомиссия РФ) и других.

Информационная безопасность включает в себя:

- доступность информации – характеризует обеспечение своевременного беспрепятственного доступа правомочных (авторизованных) субъектов к необходимой информации в АС или осуществление своевременного информационного обмена между ними;
- целостность информации – свойство информации, характеризующее необходимость ее защиты от возможности ее намеренного или случайного повреждения или вредоносной корреции;
- конфиденциальность информации – свойство информации, характеризующее необходимость ее защиты от доступа и ознакомления неправомочным субъектам, как внутренним (пользователям, программам, процессам системы), так и внешним.

В применяемых на сегодняшний день требованиях по безопасности информации, при проектировании АС, указываются признаки, характеризующие применяемые средства защиты информации от НСД. Данные признаки определяются актами органов – регуляторов в области обеспечения информационной безопасности, например ФСТЭК, ФСБ и Минобороны России.

СЗИ предназначены для обеспечения необходимого уровня защиты информации в АС, представляющих собой совокупность информации хранимой в базах данных, комплекса программных средств, обеспечивающих ее обработку и представление, а так же технических средств (СВТ), на базе которых реализована АС. Совокупность требований в части защиты программных и аппаратных средств, определяют необходимый для функционирования АС класс защищенности.

К СЗИ относится целый ряд программно – аппаратных средств. В частности, это могут быть межсетевые экраны (Firewall), средства обнаружения вторжений (IDS), средства доверенной загрузки (TSM), средства контроля съемных носителей (DLP) и другие.

Межсетевые экраны – средства, контролирующие и управляющие информацией, направленной в АС или исходящей из нее через информационные сети. Межсетевые экраны выполняют фильтрацию сетевых информационных пакетов по заданным критериям.

Средства обнаружения вторжений – это средства, автоматизирующие процесс контроля и анализа событий, происходящих в АС, с целью поиска признаков инцидента ИБ и своевременного реагирования на возникающие при этом угрозы.

Антивирусные средства СЗИ – средства автоматического контроля целостности программных средств и их вредоносной активности в АС с целью предотвращения несанкционированного уничтожения, блокирования, модификации, копирования информации или нейтрализации СЗИ.

В рамках реализации мер по управлению доступом предусмотрено обеспечение так называемой доверенной загрузки, обеспечивающей защиту компонентов АС на этапе начальной загрузки, когда прочие штатные средства СЗИ еще не запустились.

Одним из важнейших элементов защиты АС от внутренних угроз, связанных с возможной нечистоплотностью и беспечностью пользователей, является защита машинных носителей информации. Данная подсистема СЗИ направлена на регулирование, учет и контроль за использованием пользователями съемных машинных носителей.

Для формирования требований к программным и аппаратным средствам АС и СЗИ, основополагающим шагом является классификация планируемых элементов систем и средств, исходя из фактических условий эксплуатации и уровня конфиденциальности (грифа) обрабатываемой информации:

● классификация по уровню контроля отсутствия недекларированных возможностей (НДВ) Как правило, уровень контроля НДВ должен быть не ниже 2;

● классификация защищенности средств вычислительной техники; классификация средств защиты автоматизированных систем;

● классификация межсетевых экранов;

● классификация средств защиты систем обнаружения вторжений;

● классификация средств доверенной загрузки;

● классификация средств контроля съемных машинных носителей;

● классификация операционных систем для обеспечения защиты информации;

● классификация защищенности изделий информационных технологий;

● классификация криптографических средств защиты информации;

● классификация средств защиты электронной подписи.

Каждый класс подразумевает выполнение совокупности требований, которые должны быть заданы, реализованы в системе и оценены в ходе испытаний и сертификации.

Нормативная база уполномоченных федеральных органов исполнительной власти составляет основу классификации в области защиты информации. При определении классов и требований к системе, опираются на мнения профильных экспертов.

Возможность и целесообразность использования технологии искусственного интеллекта

Создание сложных автоматизированных систем, к которым относятся и СЗИ, является сложным процессом, при котором должны быть учтены не только технические, но и разнообразные, в том числе неформализованные требования к ним. Данные требования, сформулированные экспертами различных профилей, определяют будущий облик и функционал системы. К основным требованиям можно отнести необходимость интеграции вновь создаваемых систем в обобщенные системы управления, возможность влияния дестабилизирующих факторов внешнего и внутреннего вмешательства, надежность отдельных элементов и подсистем, необходимые рабочие процессы, процедуры и способы представления результатов и т.п.

Рост сложности разрабатываемых информационных систем, необходимость удаленного доступа, ориентация на открытые каналы связи и постоянный рост вредоносной активности, обу-

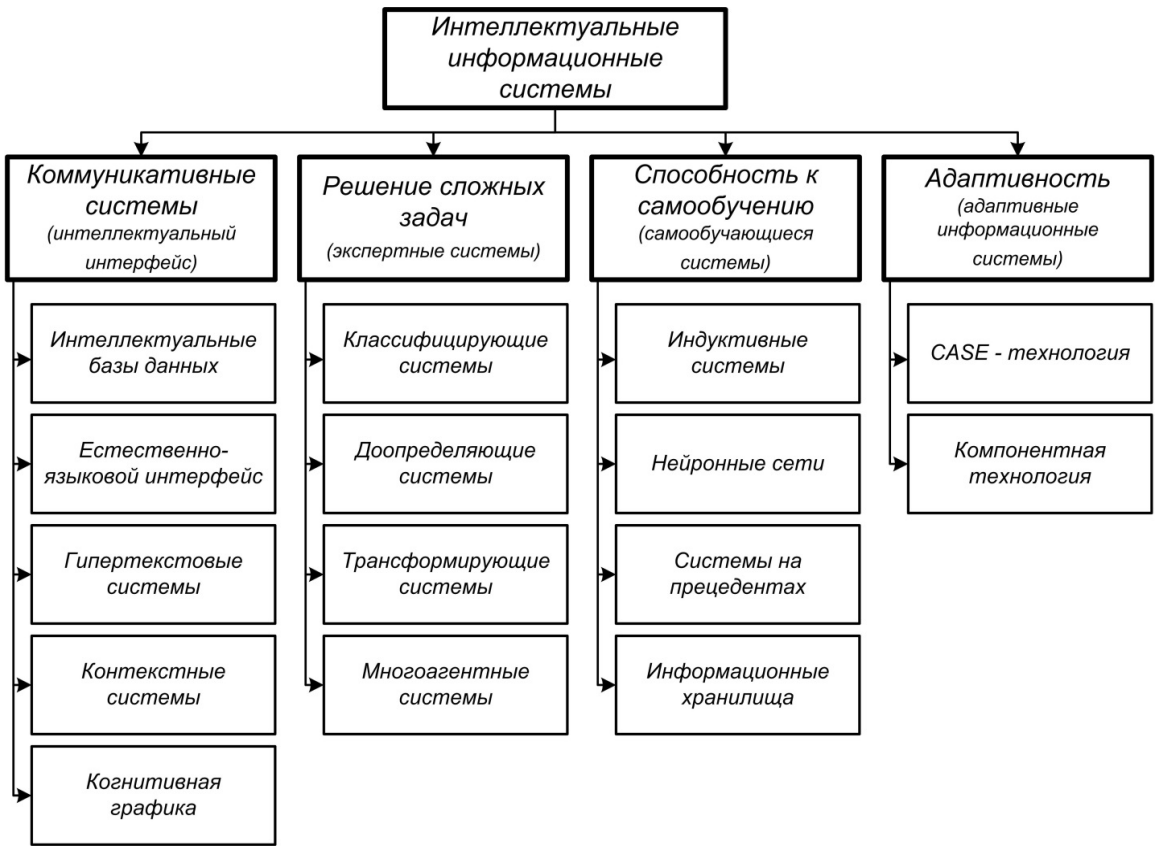


Рис. 1. Классификация интеллектуальных информационных систем

славливают необходимость использования перспективных подходов к созданию систем, одним из них является интеллектуализация информационных систем.

Искусственный интеллект, как свойство будущих интеллектуальных информационных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются вотчиной человека, может стать эффективным средством для создания и оценки разрабатываемых систем.

ИИ связан со сходной задачей использования компьютеров для эффективного сохранения интеллекта экспертного сообщества, члены которого неизбежно уходят и уносят с собой наработанный опыт. Применение ИИ, при разработке перспективных систем управления безопасностью, видится важным механизмом в создании СЗИ с качественно новыми возможностями.

С помощью ИИ возможно обеспечить оптимальный и адаптивный к угрозам выбор требований, скоординировать совместное функционирование разнородных систем, своевременно обнаруживать и идентифицировать угрозы, оценивать риски и характеристики систем безопасности. При этом, первейшей задачей является создание актуальной базы профильных знаний, на основе нормативной базы, существующих требований к системам, результатов проектирования и экспертизы СЗИ.

На данный момент нельзя говорить о «полной интеллектуальности» имеющихся систем. Правильнее говорить о методах и «элементах интеллектуализации», выборочно реализованных в существующих информационных системах. Существующие подходы к интеллектуализации информационных систем имеют классификацию, приведенную на *рисунке 1*.

В зависимости от назначения той или иной подсистемы СЗИ, возможно применять те методы интеллектуализации информационных систем, которые наиболее эффективно используют имеющиеся технические возможности, обеспечивая приемлемые параметры рисков и вероятностей выявления нарушения защиты информации. Особый интерес представляют методы, позволяющие реализовать непрерывный мониторинг угроз информационной безопасности и оперативное автоматизированное реагирование на них.

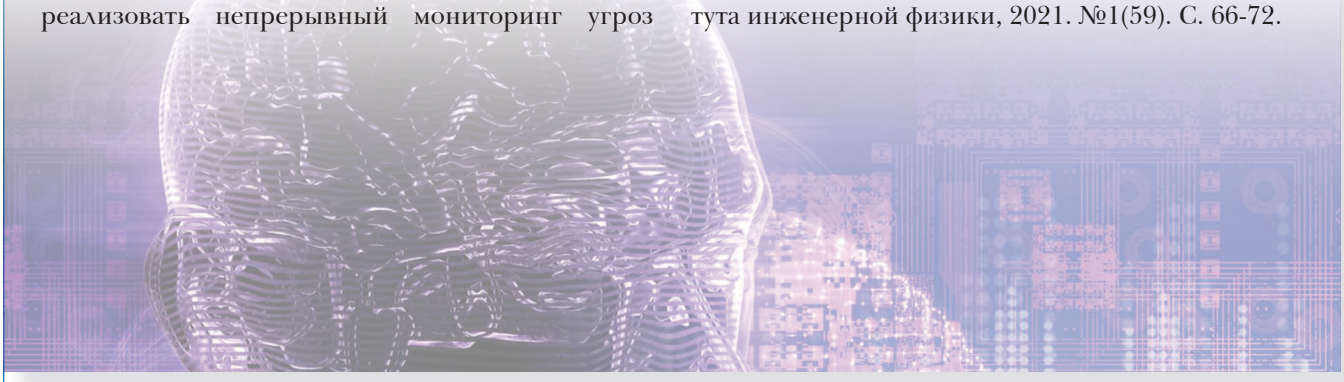
Различные средства искусственного интеллекта возможно также использовать для реализации механизмов локализации угроз информационной безопасности, идентификации и обеспечения доступа полномочных лиц по индивидуальным биопараметрам, криптоанализа СЗИ и экспертизы в целом.

Выводы

Полагать возможным и целесообразным поэтапное использование технологии искусственного интеллекта при создании СЗИ. На первом этапе первоочередной задачей считать формирование базы знаний на основе действующих нормативно-правовых документов, обеспечивающей классификацию разрабатываемых систем и средств защиты информации. На последующих этапах разработать механизмы и технологические решения искусственного интеллекта при разработке и экспертизе систем безопасности информации.

Литература

1. Чипига А.Ф. Информационная безопасность автоматизированных систем. М.: Гелиос АРВ, 2010. 336 с.
2. Ефимова Л.Л., Кочерга С.А. Информационная безопасность. Российский и зарубежный опыт: монография. М.: Юнити, 2015. 239 с.
3. Петров А.А. Компьютерная безопасность. Криптографические методы защиты. М.: ДМК, 2000. 448 с.
4. Russell S. Artificial Intelligence: A Modern Approach // Pearson Education India. 2015. 1164 p.
5. Taulli T. Artificial Intelligence Basics: A Non-Technical Introduction. 2-е изд. Apress, 2019. 200 p.
6. Joseph Muniz, Gary McIntyre, Nadhem AlFardan. Security Operations Center. Building, Operating, and Maintaining your SOC. Cisco Press.448 p.
7. Умников Е.В., Атакищев О.И., Ванюшин В.М., Грачёв В.А. Особенности обеспечения информационной безопасности при моделировании РТК с помощью виртуального полигона // Известия Института инженерной физики, 2021. №1(59). С. 66-72.



УДК 004.056

ЗАЩИЩЕННОСТЬ – ОБЪЕКТЫ И СОБЫТИЯ

SECURITY – OBJECTS AND EVENTS

Елена Павловна Бутрина
начальник отдела разработки
специального программного обеспечения и
сопровождения проектов
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7 (916) 245-98-82
E-mail: kenga48@yandex.ru

Владимир Петрович Олейников
кандидат физико-математических наук, доцент
старший эксперт
отдел разработки специального программного
обеспечения и
сопровождения проектов
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: 8 (916) 576-18-39
E-mail: vpoleinicov@mail.ru

Аннотация
Численный расчет защищенности (безопасности) объекта требует построения математических моделей понятий, используемых в концептуальной модели задачи. Нарушение защищенности объекта рассматривается как событие, которое реализуется с некоторой вероятностью. Оно заключается в изменении некоторых свойств защищаемого объекта. Такой подход позволяет прояснить ряд аспектов задачи и ответить на практические вопросы, связанные с построением модели системы угроз.
Ключевые слова: защищенность объекта, объектная модель, событийная модель, концептуальная модель.

Summary
Numerical calculation of the security (safety) of an object requires the construction of mathematical models of the concepts used in the conceptual model of the problem. A violation of the security of an object is considered as an event that is realized with a certain probability. It consists in changing some properties of the protected object. This approach makes it possible to clarify a number of aspects of the problem and answer practical questions related to the construction of a threat system model.
Keywords: object security, object model, event model, conceptual model.

Введение

В нашей работе для моделирования защищенности объекта используется два подхода [4]:

- *объектный* (системный) – для описания исследуемых сущностей (систем, объектов, свойств, значений, …);
- *событийный* – для описания происходящих с ними изменений.

Каждый из этих подходов реализуется на двух уровнях моделирования – разработке:

- концептуальной модели (КМ) – системы понятий, описывающих исследуемую сущность;
- математической модели (ММ) – формально-логическом описании понятий КМ и отношений между ними.

Отметим, что определения многих терминов и понятий КМ достаточно строго и обобщенно изложены в системе ГОСТов РФ.

Объектный подход

Принципы

Для определенности будем называть *предметом* любой «кусок реальности», который рассматривается в задаче. В разрабатываемой модели он рассматривается (моделируется) как *объект*, т.е.:

- характеризуется своим [специфическим] *набором свойств*;
- может рассматриваться как *система* – иметь структуру (компоноваться из других объектов – элементов, подсистем);
- может рассматриваться как *подсистема* – элемент объекта (надсистемы).

Поскольку объектный подход порождает иерархическое описание реальности, то он позволяет использовать разработанные модели объектов как элементы других моделей [1]. Что резко повышает эффективность разработок.

В основе подхода лежат несколько базовых взаимосвязанных понятий:

Объект O (object) – кортеж (упорядоченный набор) значений [свойств].

Свойство C (characteristic, признак, атрибут, показатель, характеристика, параметр, …) – ка-

чество, позволяющее отнести объект к некоторому классу.

Значение с свойства С – степень выраженности соответствующего качества С объекта, измеренная по некоторой шкале. Значение *с атомарно*, если оно не имеет внутренней структуры (в рамках рассматриваемой модели), тогда оно выражается конкретным числом, термином и т.п. далее неразложимым объектом.

Состояние S (**s**tate) – множество значений всех свойств объекта.

В такой трактовке *Объект* есть абстрактный класс, описываемый кортежем свойств как понятий, *Состояние* [Объекта] есть экземпляр этого класса наинизшего уровня абстрактности – конкретный предмет. Если часть свойств рассматриваются как понятия, то получаем классы различного уровня абстрактности. В зависимости от уровня абстрактности рассматриваемого объекта эти термины могут описывать как классы, так и конкретные предметы – все определяется разработчиком.

Пример. Защищаемый объект (ЗО) = (Состав; Структура; Среда; Воздействия; Угрозы,…)

Пример. Угроза = (Атакуемый объект; Источник угрозы; Тип угрозы; Степень опасности;…)

Пример. Разработчик = (Цель; Средства;…)

Поскольку свойство тоже м.б. может иметь некоторую структуру (т.е., обладать свойствами), то оно, в свою очередь может рассматриваться как объект.

Пример. Свойство как «Цвет» = (красный, оранжевый, желтый,…) обычно рассматривается как имеющее качественную природу, причем его значения можно представить в виде списка. Для многих задач этого достаточно. Но, например, значение «серый» можно описать количественно – числом в диапазоне от 0 до 1, выражающим яркость белого цвета.

Взаимодействие объектов, их связи, происходящие явления тоже описываются через свойства, т.е. являются объектами.

Концептуальная модель объекта

В силу высокой абстрактности применяемых понятий их можно использовать для построения моделей любых предметов – все упирается в возможности «модельера». Построение концептуальной модели (КМ) производится «сверху вниз», путем декомпозиции первоначально абстрактного представления-описания предмета. При этом, «Разработчик», в зависимости от его свойств, построит различные модели одного и того же предмета.

Пример. В [3] приведены определения важ-

Таблица 1

Имя	Описание
3.1.5 Надежность	Сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.
3.1.6 Безотказность	Непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.
3.1.7 Ремонтопригодность	Приспособленность к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта.
3.1.8 Восстанавливаемость	Способность восстанавливаться после отказа без ремонта
3.1.9 Долговечность	Способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния
3.1.10 Сохраняемость	Сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования
3.1.11 Готовность	Способность находиться в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта в предположении, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены

Таблица 2

Имя	Описание	Свойство
3.2.1 Исправное	Объект соответствует всем требованиям, установленным в документации на него	Испра вность
3.2.2 Неисправное	Объект не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на него	
3.2.3 Работоспособное	Объект способен выполнять требуемые функции	Работоспособность
3.2.4 Неработоспособное	Объект не способен выполнять хотя бы одну требуемую функцию по причинам, зависящим от него или из-за профилактического технического обслуживания	

ных для нас понятий-свойств (*таблица 1*).

Примечание. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтопригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определенные сочетания этих свойств.

Примечание. Отметим, что в предыдущем ГОСТ 27.002-89, взамен которого введен ГОСТ 27.002-2015, иерархические отношения для рассмотренных свойств были отражены не только в примечании, но и в рубрикации.

Анализ примера показывает, что объектный подход поддерживается стандартами РФ. Кроме того, очевидно, что КМ в рассматриваемой предметной области есть система описаний ее предметов как объектов. Такие описания в информационных технологиях называются *метаданными*.

Пример. В [3] приведены определения некоторых *состояний (таблица 2)*.

На этом примере хорошо видно, что и само состояние объекта можно трактовать как свойство, принимающее два значения – ИСТИНА/ЛОЖЬ (как ответ на запрос вида «Объект находится в состоянии S?»).

Очевидно, что при построении объектной модели предмета надо остановиться на каком-то уровне детализации. Этот уровень определяется опять-таки объектом Разработчик = (Цели; Средства;…).

Самым низким уровнем абстрактности в такой иерархической модели является модель значения:

Значение = (Шкала; Метод измерения; Спектр; Точность; Надежность,…).

Аналогичные подходы

Поскольку иерархическая идеология позволяет справиться со сложностью задачи, то она положена в основу многих методов. Например, на ней основан метод причинно-следственных диаграмм (диаграмма Исикавы), вариации которого породили большинство методик системного анализа:

- анализ дерева отказов (Fault Tree Analysis, FTA) со всеми его дополнениями,
- анализ дерева событий (Event Tree Analysis, ETA),
- анализ видов и последствий отказов (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) и т.д.

Для анализа именно защищенности и близких к ней объектов разработан диверсионный анализ (Anticipatory Failure Determination, AFD, упреждающее обнаружение неудачи), ориентированный на выявление неизвестных разработчику угроз и уязвимостей. Для этого в нем используются методы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Математическая модель объекта

Каждое из свойств C принимает значения $c_i \in C_i$, где $C_i = \{\dots\}$ – некоторое множество, состав которого формируется разработчиком при построении КМ. Тогда математическая модель (ММ) объекта есть кортеж значений его свойств

$$O = (c_1, c_2, \dots, c_K), \quad (1)$$

где K – число свойств, учитываемых в модели объекта;

c_i – значение i-свойства, $i \in [1\dots K]$.

Процесс построения концептуальной и математической модели тесно взаимосвязаны – каждый шаг в развитии КМ приводит к необходимости построить ММ такой измененной КМ, а формальная строгость при построении ММ часто требует уточнения КМ [5].

В конечном счете, ММ защищаемого объекта (ЗО) есть система взаимосвязанных ММ частей ЗО, объектов среды, их взаимодействий и всего того, что с ними происходит.

Событийный подход
Принципы

С точки зрения объектной модели, *событие E* (event) – изменение состояния некоторого объекта, т.е., изменение какого-то его свойства C:

$$E = (A; B; X), \quad (2)$$

где $A \equiv S_{Start}$ и $B \equiv S_{Finish}$ – начальное и конечное состояние объекта;

X – другие параметры события E.

Пример. Для нас наиболее важным является событие

E_0=(ЗЗО=ИСТИНА; ЗЗО=ЛОЖЬ; X_0)≡НЗЗО,

в котором свойство «Защищенность» объекта «ЗО» поменяло значение «ИСТИНА» на противоположное.

Поэтому моделирование защищенности объекта необходимо начинается с перечня тех его свойств и их значений, которые представляют собой событие E_0. При этом изменение значений любых свойств на нежелательные должно сопровождаться четким описанием таких изменений, а также способов их измерения и фиксации.

Особенности задачи исследования защищенности информационного ЗО обусловлены нематериальностью информации, что приводит к возможности нарушения его защищенности при полном отсутствии физических следов такого нарушения.

Пример. Обычно нельзя установить сам факт

грамотно проведенного копирования данных (если только оно не оставило материальных следов в виде этих данных не несанкционированном носителе).

Пример. Фотографирование объекта с большого расстояния трудно обнаружить, если материальное оборудование хорошо замаскировано.

При объектном подходе событие само есть объект, поэтому оно:

- характеризуется своим [специфическим] набором свойств;
- может иметь структуру – компоноваться из других событий;
- может быть элементом более «сложного» события.

Концептуальная модель события

Элементарное событие – изменение значения какого-либо одного свойства одного объекта (или, наоборот, его сохранение на протяжении некоторого интервала времени, *рисунок 1*).

КМ параметров X события:

$$X = (\textit{Реализованность, Вероятность [реализации]}) \quad (3)$$

Вероятность реализации события понимается как мера (степень) возможности того, что событие произойдет (на каком-то интервале времени) [2].

Концептуальные и математические модели события (и их систем) изучаются в теории вероятностей.

Математическая модель события

ММ свойства «реализованность» является случайная величина – индикатор I(X) (булева переменная, равная 1, если событие произошло, и 0, если нет).

ММ свойства «вероятность реализации» – числовая величина $P(X) \in [0; 1]$ [2].

ММ события представляется кортежем:

$$X = (I(X);\ P(X)) \quad (4)$$

ММ этих двух свойств связаны соотношением:

$$P(X) = E(I(X)) = r \quad (5)$$

(вероятность события X равна математическому ожиданию случайной величины I(X)). Отметим, что связи между свойствами объекта в КМ выражаются в ММ в виде математических соотношений между значениями соответствующих свойств.

Соотношение (5) показывает тесную взаимосвязь индикатора события и его вероятности. Тем самым мы получаем «намек» на направление дальнейшей работы – (1) получить «индикаторное» представление событий в системе, а потом (2) заменить индикаторы событий на соответствующие вероятности. Отметим, что такая прямая замена допустима не для любой структуры.

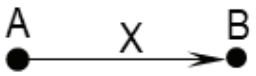


Рис. 1. Граф события. Событие как двухполюсник

Математическая модель сложного события

В алгебре событий сложное (составное) событие X представляется как результат базовых операций над другими событиями. Базис операций чаще всего состоит из отрицания, суммы и произведения событий (этот базис избыточен, но «по-человечески» понятен). Главное – суперпозицией этих операций можно представить любое событие как некоторую структуру событий.

Над одним событием X можно выполнить только одну операцию – отрицание, которая порождает противоположное событие X′:

$$X' = (I(X');P(X') = (1 - I(X);1 - P(X)) \quad (6)$$

Суть этого события – состояние объекта не изменилось.

Изменение состояния может состоять из двух последовательных изменений, с переходом через промежуточное состояние C. Тогда структура сложного события имеет вид (*рисунок 2*).

Пример. Проникновение нарушителя после прохождения паспортного и таможенного контроля с событиями X_1 = (Пройден паспортный контроль) и X_2 = (Пройден таможенный контроль).

В теории вероятностей такое сложное (составное) событие называется произведением событий.

$$X = X1 \cdot X2 = (I(X1 \cdot X2);\ P(X1 \cdot X2)), \quad (7)$$

где символ '·' обозначает логическую операцию 'произведение' (конъюнкция). Индикатор такого события, как доказывается в теории вероятностей, равен произведению индикаторов:

$$I(X1 \cdot X2) = I(X1) \cdot I(X2) = I1 \cdot I2. \quad (8)$$

Вычисление вероятности такого сложного события опирается на предположение об их независимости – события X_1 и X_2 независимы (обозначается как $X_1 \perp\!\!\!\perp X_2$), если вероятность их произведения (совместной реализации) равна произведению вероятностей этих событий:

$$P(X_1 \cdot X_2) = P(X_1) \cdot P(X_2) = r_1 \cdot r_2. \quad (9)$$

Независимость событий X1 и X2, как и всякая гипотеза, требует обоснования, но обычно она просто постулируется.

Итак, ММ произведения двух событий имеет вид:

$$X = X_1 \cdot X_2 = (I_1 \cdot I_2;\ r_1 \cdot r_2), \quad (10)$$

Рис. 2. Составное событие как последовательность событий (конъюнкция событий)

Формально из двух событий-двухполюсников можно построить и событие с «параллельной» структурой (*рисунок 3*).

Основная сложность события с такой структурой – его интерпретация. Это связано с совместимостью событий X1 и X2. Два события называются несовместными, если реализация одного из них исключает реализацию другого.

Пример. Проникновение нарушителя снаружи (CS) в запретную зону (CF) возможно двумя путями – через КПП (событие X1) или через забор (событие X2). Если нарушитель один, то эти события несовместны. Если их двое, то совместны.

Таким образом, одна и та же графическая структура может описывать логически разные структуры событий.

Описание и свойства этих структур представлены в *таблице 3*.

Отметим, что для этих простейших структур переход от индикаторов к вероятностям производится простой заменой I→r.

Заключение

Построение КМ защищенности ЗО начинается с определения следующих понятий:

- объект – объект защиты (ЗО);
- свойство ЗО – защищенность ЗОЄ(ИСТИНА; ЛОЖЬ);
- событие – $E0 = (ЗЗО = ИСТИНА; ЗЗО = ЛОЖЬ; X0) \equiv НЗЗО$.

Вероятность

$$r0 \equiv P(X0) \qquad (15)$$

события E0 на протяжении определенного интервала времени T и является наиболее важной числовой характеристикой задачи. Эта величина есть вероятность нарушения защищенности (ВНЗ) ЗО и характеризует степень незащищенности объекта. Ее получение – цель решения задачи.

Вероятность противоположного события

$E0' = (НЗЗО)' \equiv (Защищенность\ ЗО\ сохранена)$

равна

$$r_0' = 1 - r_0 \qquad (16)$$

и характеризует степень защищенности объекта, или надежность его защиты.

То есть, обеспечение защищенности объекта и надежности его работы опираются на одну и ту же математическую модель, отличаясь лишь терминологией и аспектами, выдвигаемыми на первый план.

В предложенной работе изложены только принципы разработки модели защищенности объекта и простейшие структуры событий. В дальнейшем мы рассмотрим более сложные структуры событий и связанные с ними проблемы.

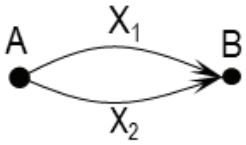


Рис. 3. Составное событие как два «параллельных» события (дизъюнкция событий)

Литература

1. Буч Г., Максимчук Р., Энгл М. и др. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. М.: Изд. дом «Вильямс», 2008.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.
3. ГОСТ 27.002-2015. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Термины и определения.
4. Советов Б.Я. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата / Б.Я. Советов. С.Л. Яковлев. 7-е изд. М.: Издательство Юрайт, 2017. 343 с.
5. Умнов А.Е. Методы математического моделирования: Учебное пособие. М.: МФТИ, 2012. 295 с.

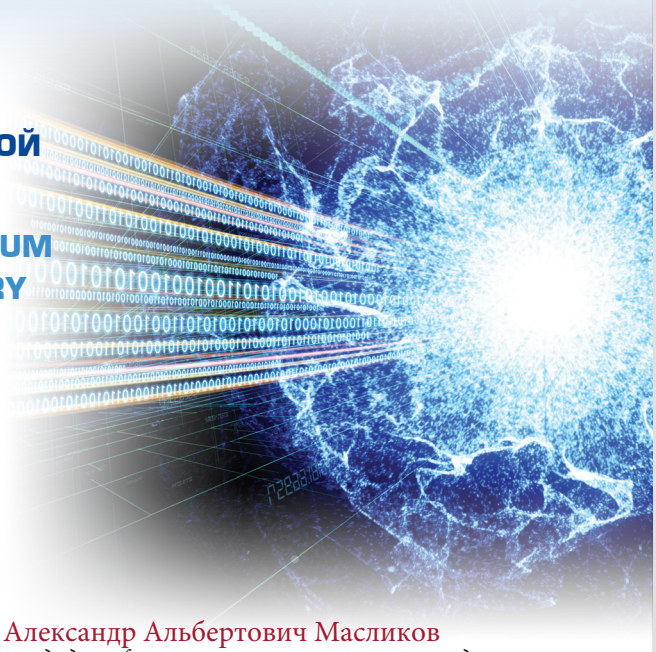
Таблица 3
Структуры из двух событий

Структура	последовательная	параллельная
Событие X	произведение	сумма
Описание	оба вместе	либо X_1, либо X_2, либо оба вместе
Условие реализации	все [X из всех]	хотя бы одно [X из всех]
Операция	конъюнкция	дизъюнкция
Синоним	И	[нестрогое] ИЛИ
Функция алгебры логики (ФАЛ)	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 + X_2$
Индикатор	$I_1 \cdot I_2$ (11)	$I_1 + I_2 - I_1 \cdot I_2$ (12)
Вероятность	$r_1 \cdot r_2$ (13)	$r_1 + r_2 - r_1 \cdot r_2$ (14)

УДК 539.182

О ГЕНЕАЛОГИЧЕСКОМ ДРЕВЕ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ В ТОРИЧЕСКОЙ ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ

ON THE GENEALOGICAL TREE OF QUANTUM STATES IN TORIC PROJECTIVE GEOMETRY



Геннадий Германович Волков
доктор физико-математических наук, профессор
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: gennadii.volkov@rambler.ru

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

Александр Альбертович Масликов
кандидат физико-математических наук, доцент
заведующий комплексной лабораторией физики
Филиал «Протвино»
Государственного университета «Дубна»
Адрес: 142281, Московская обл.,
г. Протвино, Северный проезд, д. 9
Тел.: +7 (4967) 31-01-92
E-mail: masspref@yandex.ru

Аннотация

Мир чистых и смешанных многоуровневых квантовых состояний, кубитов, кутритов,...,кудитов, напрямую связан с проективными комплексными пространствами CP^n и проективными алгебраическими подмногообразиями (смешанные состояния). Теория торических многообразий позволяет не только подойти к описанию топологических свойств огромного класса этих пространств (много-кудитных N состояний) и подмногообразий, но открывает явные алгебраические и геометрические связи между пространствами и подмногообразиями различных размерностей. Именно единение алгебраического и торического подходов позволило построить мультинарную универсальную алгебру проективных рефлексивных весов, законы композиции которой связывают все размерности огромной совокупности унитарных проективных и квазипроективных пространств (состояний) и соответствующих алгебраических подмногообразий, классифицируя их по неприводимым представлениям. Важность применения этой универсальной алгебры в рамках торической проективной геометрии к квантовой теории информации заключается в новых возможностях исследования всех возможностей квантового запутывания в многокубитных $CP^1{\times}CP^1{\times}\ldots{\times}CP^1$ состояниях, так и алгебраических и топологических структур многоуровневых квантовых состояний – CP^n кутритов CP^2, квартитов CP^3 и т.д кудитов CP^n. и соответственно создания гибридных многоуровневых запутанных квантовых систем для квантовой телепортации и квантовых компьютеров.

Ключевые слова: кубит, кутрит, кудит, торическая геометрия, проективные пространства, многообразия, квантовая информация, рефлексивные алгебры, унитарность, группа голономии, графы Бергера, пространства Калаби-Яу.

Summary

The world of pure and mixed multilevel quantum states, qubits, qutrites,..,qudits, is directly related to projective complex spaces CP^n and projective algebraic subvarieties (mixed states). The theory of toric varieties allows us not only to approach the description of the topological properties of a huge class of these spaces (many-qudit N states) and subvarieties, but also reveals explicit algebraic and geometric connections between spaces and subvarietiess of different dimensions. It is the combination of the algebraic and toric approaches that made it possible to construct a multi-dimensional universal algebra of projective reflexive weights, the composition laws of which connect all dimensions of a huge collection of unitary projective and quasi-projective spaces (states) and corresponding algebraic subvarieties, classifying them according to irreducible representations. The importance of this universal algebra within the framework of toric projective geometry of the applications to the quantum information theory lies in the new possibilities of investigating all the possibilities of quantum entanglement in multi-qubit $CP^1{\times}CP^1{\times}\ldots{\times}CP^1$ states, as well as algebraic and topological structures of multilevel quantum states – CP^2 qutrites, CP^3 quartites, etc. CP^n qudits. and, accordingly, the creation of hybrid multilevel entangled quantum systems for quantum teleportation and quantum computers.

Keywords: qubit, qutrit, qudit, toric geometry, projective spaces, varieties, quantum information, reflexive algebras, unitarity, holonomy group, Berger graphs, Calabi-Yau spaces.

Введение

Квантовая запутанность является ресурсом так же, как и столь ж абстрактное понятие энергии. Квантовая запутанность является ресурсом, который позволяет совершать такие, казалось бы, невозможные вещи, как квантовую криптографию и квантовые вычисления – квантовый компьютер или квантовую телепортацию. Обычные модели квантового компьютера используют замкнутые системы из m кубитов и имеют дело только с унитарными вентилями в чистых состояниях. Чистое состояние m двухуровневых замкнутых квантовых систем является элементом 2^m-мерного гильбертова пространства и позволяет реализовать модель квантового компьютера с двузначной логикой. Запутанность в многочастичных связанных системах является важным ресурсом для многих проблем квантовой информатики, но ее количественное описание довольно сложная задача. Многомерные запутанные состояния интересны как для изучения основ квантовой механики, так и для актуальности разработки новых протоколов для квантовой коммуникации. Создание и сохранение запутанности контролируемым образом также является основной проблемой для реализации квантовых компьютеров. Квантовая запутанность имеет самое прямое отношение к пониманию природы сознания человеческого мозга. Нейробиологические исследования в область коры, состоящей примерно из 100 миллиардов нейронов, которые по своей природе соединены в очень сложную сеть. Квантовые теории сознания основаны на моделировании квантовой нейронной сети со структурой микротрубочки. Они использовали чрезвычайно упрощенную модель димеров тубулина, где каждый димер был представлен просто как кубит, единая квантовая система с двумя состояниями. Расширение этой модели на n-мерное квантовые состояния, или n-кудиты, имеют большие перспективы в моделировании систем сознания человека. Известно, что пространство всех разрешенных в квантовой теории состояний намного богаче, чем пространство классических состояний, что следует немедленно из сравнения геометрии классических и квантовых пространств состояний. В квантовой установке множество состояний Ω_n, состоит из эрмитовых, положительных и нормированных матриц плотности. Кроме того для любых двух чистых состояний существуют преобразования, которые непрерывным путем соединяют два квантовых чистых состояния. Эти и другие факты являются ключевыми различиями между классической и квантовыми теориями. Сложность схемы эволюции системы квантовых кубитов как примитивной проблемы квантовых вычислений широко обсуждалась в литературе. Используя риманову геометрию, оптимальные квантовые схемы эквивалентны геодезическим эволюциям в специальной параметризации $SU(dm)$. Сложность квантовых схем для систем нескольких кубитов, а также для многоуровневых квантовых состояний, кутритов исследовалась с помощью различных подходов, среди которых надо выделить геометрический подход [1-4].

Чистые и смешанные многоуровневые квантовые состояния

Пространство состояний отдельного кубита – это 2-мерное векторное пространство $S^2 \approx S^3/S^1$, в котором 2-х уровневые векторы состояний $|\psi\rangle = z_0|0\rangle + z_1|1\rangle$, $\{z_0 = x_0 + iy_0,\ z_1 = x_1 + iy_1\} \in C^2$, а $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ являются ортонормированными базисными векторами. Благодаря условию нормировки $|z_0|^2 + |z_1|^2 = 1$, вещественные параметры принадлежат 3-мерной сфере: $(x_0, y_0, x_1, y_2) \in S^3$. Так как векторы $|\psi\rangle$, отличающиеся только общим комплексным фактором $e^{i\varphi} \in S^1$, считаются одним и тем же состоянием. Это означает, что есть индивидуальное соответствие между множеством чистых состояний и множеством классов эквивалентности $(z_0, z_1) \in \lambda(z_0, z_1), \lambda \in C^* = C \backslash 0$. По определению это одномерное комплексное проективное пространство $CP^1(z_1 : z_2) = S^2$. Числа $(z_1 : z_2)$ известны как однородные координаты.

Пространство состояний m-кубитовой системы – это 2^m-мерное векторное пространство, образованное из тензорного произведения m копий комплексных проективных пространств CP^1 одиночных кубитов $CP^1 \times \ldots \times CP^1$. В случае 2-х уровневой системы Гильбертово пространство чистых состояний $CP^1 \times CP^1$ вложено в 3-х мерное комплексное проективное пространство CP^3: $CP^1 \times CP^1 \subset CP^3$. Замкнутая квантово-механическая система может быть смоделирована как векторное пространство с внутренним скалярным произведением – гильбертово пространство, в котором каждое состояние системы – это единичный вектор.

Состояния квантовой системы d-уровня находятся во взаимно однозначном соответствии с положительно полуопределенными операторами единичного следа в d-мерном гильбертовом пространстве H. В общем, квантовые системы не изолированы от окружающей среды, и тогда квантовая система не находится в чистом состоянии, в результате смешанное состояние описывается матрицей плотности. Матрица плотности ρ – это эрмитов ($\rho\dagger = \rho$), положительный оператор $\rho \geq 0$ на H с единичным следом ($Tr\rho = 1$). Набор

всех возможных операторов плотности системы d-уровня является ее пространством состояний Ω_d. Чистые состояния соответствуют следующему матричному условию $\rho^2=\rho$, которое эквивалентно условию $Tr\rho^2=1$. Чистое состояние представлено оператором $\rho=|\psi><\psi|$. Все остальные состояния являются смешанными. Из определения следует, что квантовое пространство состояний является выпуклым множеством. То есть выпуклая комбинация операторов плотности всегда приводит к оператору плотности: $\rho_j \in \Omega_d$, $j=0,1,..,l$ влечет $\Sigma_j p_j \rho_j \in \Omega_d$ для любого множества $\{p_j\}$ с $p_j>0$, $\Sigma_j p_j=1$.

Можно представить произвольный оператор матрицы плотности $\rho(t)$ для m-кубитов в терминах тензорных произведений единичной 2×2-матрицы σ_0 и 2×2- Паули σ_i, которые эрмитовы и унитарны, причем $\{\sigma_i/2,\ i=1,2,3\}$ порождают $su(2)$-алгебру Ли:

$$\rho(t)=\frac{1}{2^m}\sum_{\mu_1\dots\mu_m}^{N} F_{\mu_1\dots\mu_m}(t)\sigma_{\mu_1}\otimes\dots\otimes\sigma_{\mu_m},$$

$$\sigma_1=\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\sigma_2=\begin{pmatrix}0 & -i\\ i & 0\end{pmatrix}\sigma_3=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & -1\end{pmatrix},\sigma_0=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}$$

где $F_0\dots_0(t)=1$, $\mu_i \in \{0,1,2,3\}$, $i=1,\dots,m$, $N=4^m$.

Кубит – самый простой пример множества двухуровневых квантовых состояний, которое геометрически представляется выпуклым трехмерным шаром. Чистые состояния находятся на его поверхности-сфере Блоха S^2, а сам шар представляет собой пространство всех состояний Ω_2 кубита, простейшего квантово-механического пространства состояний, которое можно разложить в этом базисе, как $\rho=1/2(\sigma_0+f_1\sigma_1+f_2\sigma_2+f_3\sigma_3)$, где коэффициенты разложения равны $f_i=Tr(\rho\cdot\sigma_i)$. Эти три числа действительны, поскольку матрица эрмитова. Трехмерный вектор $f=(f_1,f_2,f_3)$ называется вектором Блоха или вектором когерентности. Чистые состояния представлены проектором $\rho=\rho^2$. где коэффициенты f_i определяющие чистые состояния отождествляются со сферой Блоха $(f_1)^2+(f_2)^2+(f_3)^2=1$, а смешанные внутри нее – шар Блоха. Если вектор $f=0$, то имеем максимально смешанное состояние. Поскольку след матриц Паули равен нулю, коэффициент 1/2, стоящий перед единичной матрицей, гарантирует, что $Tr\rho=1$, и также надо убедиться, что все собственные значения неотрицательны.

Важность хорошего понимания геометрии Ω_d очевидна. Структура Ω_2 вместе с границей пространства состояний двухуровневой системы кубита проста: это шар и сфера Блоха. Но структура Ω_d, с его границей, обобщения шара и сферы Блоха, намного богаче при $d\geq 3$ [1-5]. Когда $d>2$, пространство квантовых состояний больше не является шаром. Однако это всегда выпуклое множество. Для всех d любая матрица плотности может быть получена вращением классической вероятности симплекса вокруг максимально смешанного состояния, которое остается инвариантным относительно вращений. Однако при $d>2SU(d)$ является собственной подгруппой в $SO(d^2-1)$, поэтому Ω_d образует твердый шар, только если $d=2$.

К сожалению, хотя достаточные условия для представления состояния известны, они не сильно улучшают наше понимание геометрии Ω_3 [5]. Мы знаем, что набор чистых состояний имеет четыре вещественных измерения и что грани Ω_3 являются копиями трехмерной модели Блоха, но как все это выглядит на самом деле? Обобщение для $d=3$ основано на записи 3x3-матрицы плотности ρ как

$$\rho=\frac{1}{3}(\lambda_0+\sum_{m=1}^{8} g_m\lambda_m),$$

где g_m – вещественные коэффициенты;
λ_0 – единичная матрица;
λ_m – генераторы $su(3)$-алгебры Ли, которые представлены в виде 8-матриц Гелл-Манна, эрмитовых, бесследовых и удовлетворяющих соотношению ортогональности $Tr\{\lambda_i\lambda_k\}=2\delta_{ik}$, которые однако не унитарны, в отличие от матриц Паули.

В результате было уже обнаружено, что пространство трехуровневых векторов является довольно сложной областью $\delta\Omega$, лежащей внутри 8-ми мерной гиперсферы, не заполняя ее. Кроме того, простая картина унитарных операторов, ведущих к вращению блоховского вектора, не применяется для кутрита.

На пути к торической геометрии

Для анализа чистых d-уровневых ($d=3,4,\dots$) квантовых состояний кутритов $n=3$ и выше происходит встреча с многомерными однородными унитарными пространствами $M=G/H$, такие как нечетномерные сферы

$$S^{2n-1}=U(n)/U(n-1)=SU(n)/SU(n-1)$$

и комплексные проективные пространства

$$CP^n=U(n+1)/U(1)\times U(n),\ n=d-1=2,3,4.$$

Комплексная размерность однородных пространств M группы G и группой изотропии H равна $dimM=dimG-dimH$. Для кубита удачно сложилось, что сфера Блоха может быть рассмотрена как расслоение Хопфа $S^2=SU(2)/U(1)=S^3/S^1$, и более того, получение, инициализация и наглядность в управлении кубитами на практике были достигнуты благодаря двойственной связи $SO(3)=SU(2)/Z_2$ внутренней симметрии $SU(2)$-спиновых состояний и $SO(3)$-группы вращений трехмерного пространства R^3. При исследова-

нии и работе с кутритами и выше ситуация значительно усложняется как по причине уникальной сложности самих многомерных пространств чистых и смешанных состояний, так и при поиске связей их внешними пространственно-временными симметриями. В результате, кажется полезным для дальнейшего изучения топологических, комплексных и других структур многомерных пространств посмотреть на сферу Блоха, как на сферу Риманову $S^2=CP^1$ [6], которая реализуется как стереографическая проекция на экваториальную плоскость с координатами (x,y), принимаемую за комплексную плоскость $z=(x+iy)=r\cdot exp(i\varphi)$. В результате стереографической проекции каждой точке сферы Римана соответствует единственная точка на комплексной плоскости, так сфера Римана касается комплексной плоскости в начале координат (0,0), совпадающую с южным полюсом сферы Римана, а северному полюсу сферы Римана сопоставляется бесконечно удаленная точка комплексной плоскости C, включение $z=\infty$ дополняет ее до комплексного проективного пространства: $C\rightarrow CP^1$, которое в силу комплексной одномерности называют проективной прямой. Комплексное проективное пространство размерности два называют проективной плоскостью. Двумерную сферу

$$S^2=\{(x,y,z)\in\mathbb{R}^3\,|\,x^2+y^2+z^2=1\}$$

можно рассматривать как многообразие с двумя картами

$$U=\{(x,y,z)\in S^2\,|\,x^2+y^2+z^2\neq 1\}$$

и

$$V=\{(x,y,z)\in S^2\,|\,x^2+y^2+z^2\neq -1\}$$

и двумя согласованными друг с другом отображениями

$$f_V\,|\,U\rightarrow\mathbb{R}^2,(x,y,z)\rightarrow\left(\frac{x}{1-z},\frac{y}{1-z}\right),$$

$$f_V\,|\,V\rightarrow\mathbb{R}^2,(x,y,z)\rightarrow\left(\frac{x}{1+z},\frac{y}{1+z}\right).$$

На этих карте U метрика в точке $P=(u_1,u_2)$ имеет следующий вид:

$$g_{U,P}=\frac{4}{\left(1+|u|^2\right)^2}\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},$$

аналогично строится метрика на карте V. Поскольку сфера S^2 односвязна, а $SO(2)$ связана, группа голономии есть точно $SO(2)$. Комплексную структуру на S^2 можно просто проверить через комплексные координаты и убедиться, что функции перехода голоморфны. Метрика G_U (G_V) на картах U и (V) в комплексных координатах $z=u_1+iu_2$ $(w=v_1+iv_2)$ приобретает на U следующий вид

$$G_U=\frac{4}{(1+|z|^2)^2}(dz\otimes d\bar{z}+d\bar{z}\otimes dz),$$

и аналогично на карте V. Глобально определенная 2-форма-объем на карте U приобретает вид

$$\omega_U=\frac{4}{\left(1+|z|^2\right)^2}dz\wedge d\bar{z}$$

и аналогично на карте V, где

$$\int_{S^2}\omega=\pi\,.$$

Двумерная сфера S^2 не является Калаби-Яу многообразием в силу того, что тензор Риччи

$$Ric=\frac{2}{\left(1+|z|^2\right)^2}(dz\otimes d\bar{z}+d\bar{z}\oplus dz)$$

не обращается в нуль, или, что тоже самое, форма Риччи $\rho=\frac{2}{\left(1+|z|^2\right)^2}dz\wedge d\bar{z}$.

Первый класса Черна c_1 голоморфного векторного расслоения вычисляется на карте U из общего класса когомологий

$$c(t)=\det\left(1+\frac{it}{2\pi}\Omega(z,\bar{z})dz\wedge d\bar{z}\right)=1+\frac{i}{\pi}\frac{t}{\left(1+|z|^2\right)^2}dz\wedge d\bar{z}\,.$$

Первый класс Черна нетривиален

$$c_1=\left[\frac{i}{\pi}\frac{1}{\left(1+|z|^2\right)^2}dz\wedge d\bar{z}\right],$$

так как интеграл по сфере не обращается в нуль. Группой голономии двумерной сферы S^2 является SO(2), изоморфная $U(1)$, что также не соответствует определению Калаби-Яу многообразий, для которых в двумерном случае она должна была быть тривиальной, то есть $SU(1)$.

Путь к генеалогическому древу квантовых состояний через универсальную торическую алгебру

Итак, геометрия наших многоуровневых квантовых чистых состояний кудиты $\delta\Omega_d$ соответствует $n=(d-1)$-мерным комплексным проективным пространствам CP^n, которые определяются стандартным образом:

$$CP^n=C^{n+1}(z_0,\ldots,z_n)\text{-}\{0\}/\sim,$$

где знак $(\sim)$ обозначает, что $(z_0,\ldots,z_n)=(\lambda z_0,\ldots,\lambda z_n)=\lambda(z_0,\ldots,z_n)$, где $\lambda\in C^*$, $C^*=C\backslash\{0\}$, то есть все точки $\lambda(z_0,\ldots,z_n)$, лежащие на линии, проходящей через начало координат, отождествляются в одну [6,7]. В результате этого отождествления комплексное проективное пространство CP^n является множеством всех линий в C^{n+1}, проходящих через начало координат, и в котором точки обозначается через однородные координаты $[z_0, z_1,\ldots,z_n]$. CP^n можно считать как C^n вместе с копией CP^{n-1} на бесконечности и более того, как объединение $(n+1)$ аффинных карт:

$$CP^n=U_1\cup\ldots\cup U_{n+1}\,,$$

где

$U_i\approx C^n\,[z_1,\ldots,z_{n+1}]\rightarrow(z_1/z_i,\ldots,z_{i-1}/z_i,1,z_{i+1}/z_i,\ldots,z_{n+1}/z_i)$, или $U_i=CP^n\backslash V_i$, где $V_i\approx CP^{n-1}$ посредством отображения

$$(z_1,\ldots,z_{n+1})\rightarrow[z_1,\ldots,z_{i-1},z_{i+1},\ldots,z_{n+1}].$$

В дополнение комплексное проективное многообразие CP^n является келеровским с $(n+1)$ картами $U_j(j=1,\ldots,n+1)$ с аффинными координатами в них $z_j\neq 0,(z_1,\ldots,z_{n+1})\in C^{n+1}\setminus\{0\}$, с метрикой Фубини-Стади и гармоничной формой Риччи $Ric=(n+1)\omega$ и, соответственно, с нетривильным классом Черна c_1, не допускающим в CP^n плоской Риччи метрики [2]. Это обстоятельство является отличием келеровких многообразий от Калаби-Яу (CY_n), для которых $c_1=0$. В результате, CP^n – келерово и все его подмногообразия также келеровские подмногообразия [2].

Через однородные полиномы $f_1,\ldots,f_r\in C[z_1,\ldots,z_{n+1}]$ можно ввести в рассмотрение проективные (как келеровы, так и Калаби-Яу) алгебраические подмножства [7]:

$$V(f_1,..f_r)=\{a\in CP^n\,|f_1(a)=\ldots=f_r(a)=0\}\subset CP^n.$$

Пространства d-уровневых чистых состояний – $\delta\Omega_d$-кудиты являются келлеровыми компактными проективными пространствами $CP^{n-1}=CP^{n-1}(k)$ с единичными весами $k=(k_1,\ \ldots\ ,k_n)[d]=(1,\ldots,1)[n]$, $d=k_1+\ldots+k_n$. Так точке – $k_1=(1)[1]$, кубитам отвечает единичный вес $k_2=(1,1)[2]\to CP^1(1,1)$, кутритам $k_3=(1,1,1)[3]\to CP^2(1,1,1)$, квартитам $k_4=(1,1,1,1)[4]\to CP^3(1,1,1,1)$, квинтитам – $k_5=(1,\ldots,1)[5]\to CP^4(1,1,1,1,1),\ldots$, и которые дали начало к применению универсальной мультинарной алгебры рефлексивных проективных весов для алгебраической классификации CY_n-пространств, для которой было рассмотрено обобщение $(n+1)$-мерных единичных весов до квазипроективных [9,10]. Для такого множества весов $k=(k_1,\ \ldots\ ,k_{n+1})$ размерности $(n+1)$ с положительными целыми числами $k_i\in Z_+$ можно определять весовые квазипроективные келеровы пространства:

$$CP^n(k_1,\ldots,,k_{n+1})=C^{n+1}\text{-}\{0\}/\sim,$$

где $(z_1,\ldots,z_{n+1})\sim(\lambda^{k_1}z_1,\ldots,\lambda^{k_{n+1}}z_{n+1})$.

В терминах полиномиального кольца $C[z_0,\ \ldots\ ,z_{n+1}]$ это означает, что каждая координата идет со своим весом k_i [7,8]

$$f(\lambda^{k_1}z_1,\ldots,\lambda^{k_{n+1}}z_{n+1})=\lambda^d f(z_1,\ldots,z_{n+1}).$$

Цель – найти алгоритм построения всех весовых векторов, отвечающих определенному классу как проективных пространств, так и квазипроективных алгебраических многообразий, которые бы отвечали определенному классу квантовых смешанных и запутанных состояний [1-4]. Предлагается применение алгебраического подхода, связанного с уже известной универсальной алгеброй всех рефлексивных проективных векторов любой размерности и ее возможных обобщений. Так для чистых состояний такая алгебра с расширением размерности рефлексивных весовых векторов начинается с проективного рефлексивного веса $k=(1)$, связанного с проективной точкой, затем двумерного проективного веса $k=(1,1)$, связанного с CP^1, далее 3-х мерного единичного проективного веса $k=(1,1,1)$, связанного с CP^2, 4-х мерного веса $k=(1,1,1,1)$, связанного с CP^3 и так далее, которые все последовательно определяют пространства чистых квантовых состояний кудитов: кубитов, кутритов, квартитов и т.д. (см. *рисунок 1*). В этом случае универсальность алгебры открывает путь к много операционным законам композиции с проективными пространствами чистых состояний CP^n совместно с алгебраическими квазипроективными подмногообразиями, ставя дальнейшие цели связи последних с многомерными смешанными состояниями. Наиважнейшей особенностью универсальности этой алгебры является тот факт, что кроме обычных бинарных операций «расширения» и «сжатия», она последовательно использует в дополнение к бинарным операциям и мультинарнарные операции композиции с $n=3,4,5,\ldots$, что открывает многоцентровые пути к запутыванию состояний. Алгебра рефлексивных проективных векторов была открыта для подсчета рефлексивных проективных весовых векторов $CY_2=K3$- и CY_3-многообразий [9,10], причем именно ее расширенные законы композиции дали возможность для классификации всего многообразия весов разных размерностей с дополнительной классификацией по неприводимым представлениям. Алгебра рефлексивных весовых векторов фактически восходит к теории многомерных чисел (операды), которая возникла в тесной связи с тороидовой геометрией при классификации n-мерных Калаби-Яу пространств CY_n с $n=2,3,..$,

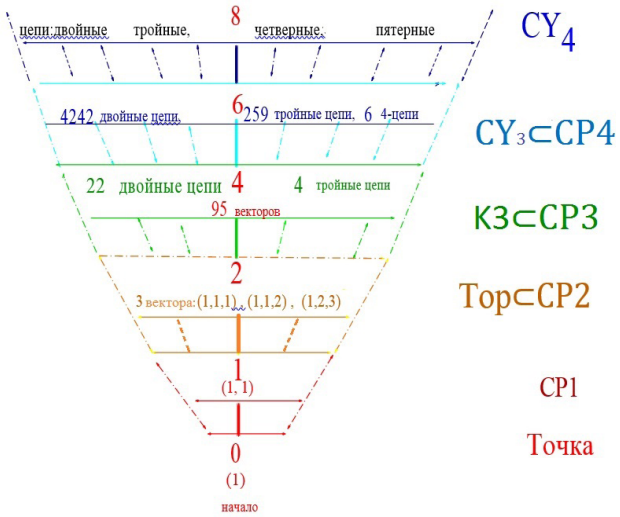
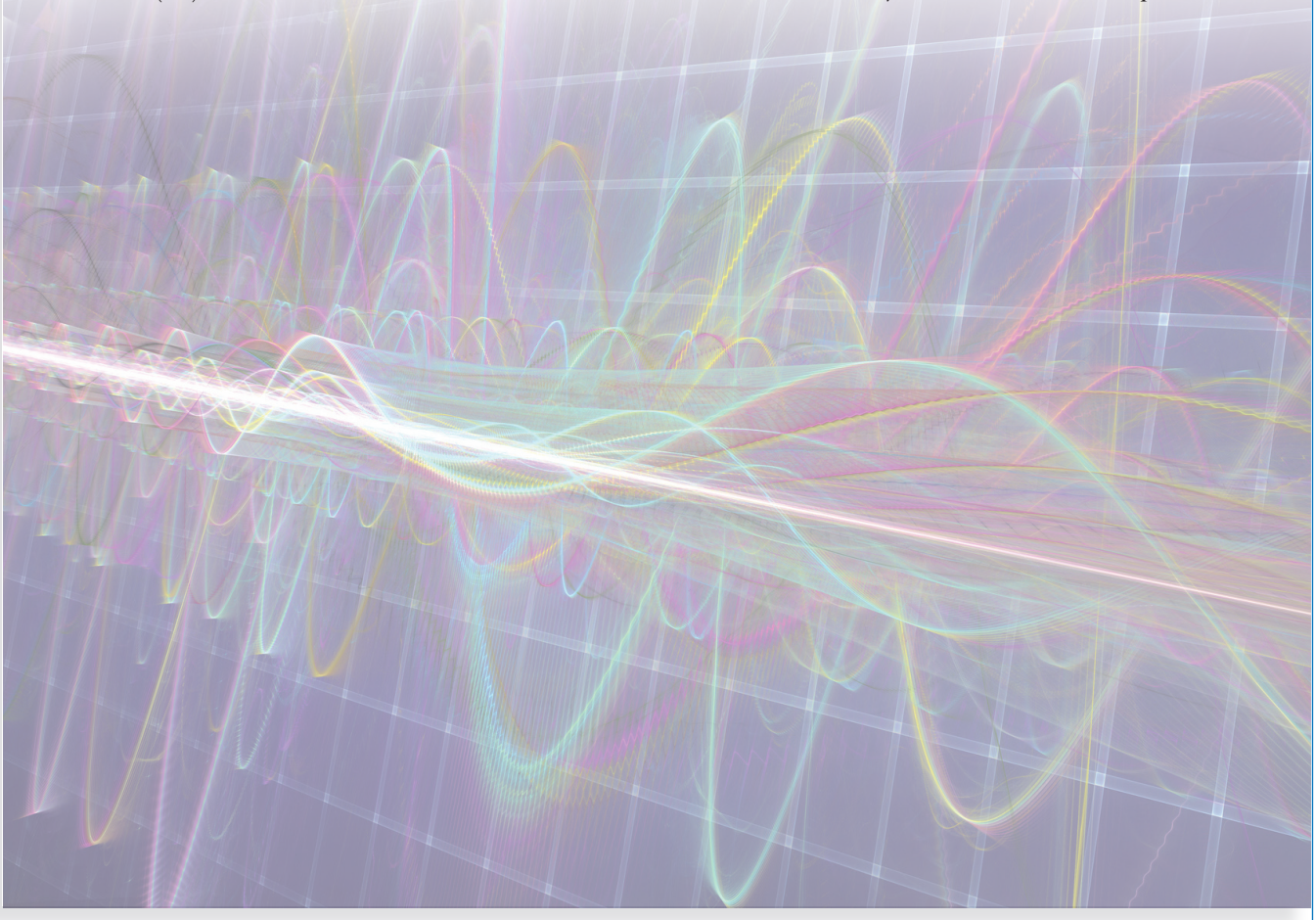


Рис. 1. Генеалогическое древо квантовых состояний в различных размерностях на языке рефлексивных проективных весов

которые имеют ряд замечательных структурных свойств, например, $CY_1 \subset CY_2 \subset CY_3 \subset \ldots$. Этот факт открывает аналогичное последовательное включение проективных пространств состояний Ω_d, что уже можно наблюдать для чистых состояний различных размерностей. Успехи применения универсальной алгебры проективных рефлексивных весов в алгебраической классификации CY_n-пространств открывают уникальные возможности ее применения в прогрессе исследований многомерных проективных пространств dim=4,5,6,… и их алгебраических проективных подмногообразий многокубитных и гибридных систем, включающих как чистые, так и смешанные квантовые состояния.

Литература

1. Волков Г.Г., Смуров С.В., Царьков А.Н. О проективных алгебраических многообразиях в торической геометрии и квантовой физике // Известия Института инженерной физики, 2021. №1(59). С.73-87.
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.
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.85-95.
4. Царьков А.Н., Смуров С.В., Волков Г.Г. Тернарные неабелевы симметрии о запутывании многомерных пространств // Известия Института инженерной физики, 2020. №2(76). С.74-81.
5. K. Zyczkowski, I. Bengtsson. An Introduction to Quantum Entanglement: A Geometric Approach, arXiv:quant-ph/0606228. V1. 27 Jun, 2006.
6. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. М.: Наука, 1979. 760 с.
7. D. Cox. The Homogeneous Coordinate Ring of a Toric Variety, J. Alg. Geom. 4 (1995) 17, alggeom/9210008.
8. J.P. Brasselet. Introduction to toric varieties / Workshop on «The geometry and topology of Singularities», Cuernavaca, 2007.
9. F. Anselmo, J. Ellis, D. Nanopoulos, G. Volkov. Towards an algebraic classification of Calabi-Yau Manifolds: Study of K3 spaces, Phys. Part. Nucl. 32(2001) 318-375; Fiz. Elem. Chast. Atom. Yadra 32, 2001. Pp. 605-698.
10. F. Anselmo, J. Ellis, D.V. Nanopoulos, G. Volkov. Results from an Algebraic Classification of Calabi-Yau Manifolds Phys.Lett. B499, 2001. Pp.187-199.



ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ – УЧАСТНИК ВОЕННОГО ИННОВАЦИОННОГО ТЕХНОПОЛИСА «ЭРА»

Уровень развития военной техники, в том числе современного высокоточного оружия различного базирования, предъявляет повышенные требования к постоянному совершенствованию и унификации систем топогеодезического и навигационного обеспечения (ТГНО) Вооруженных Сил Российской Федерации.

При этом точность определения исходных геодезических данных (ИГД), являющихся основой для расчета полетных заданий и целеуказаний высокоточного оружия, напрямую зависит от качества измерения параметров геофизических полей Земли и точности государственной геоцентрической системы координат (ПЗ-90.11), которая используется для решения навигационных задач в интересах обороны.

Решить эту задачу возможно только созданием сети пунктов колокации, предназначенных для постоянного мониторинга и измерения параметров гравитационного и магнитного полей Земли.

Возможность создания на территории Военного инновационного технополиса «ЭРА» (ВИТ «ЭРА», Технополис) первого в ВС РФ пункта колокации рассматривается Генеральным штабом ВС РФ и полностью соответствует требованиям Государственного стандарта ГОСТ Р56411-2015, предъявляемым к размещению и оборудованию этих пунктов.

Единый комплекс астрономо-геодезического, навигационного и геоинформационного обеспечения (Единый комплекс АГНО), проект которого разрабатывается в настоящее время Межрегиональным общественным учреждением

«Институт инженерной физики», планируется к использованию в качестве одной из основных составных частей стационарного пункта колокации, предназначенного для повышения точности общеземной геоцентрической системы координат и позволяющего комплексно решать задачи определения ИГД, подготовки позиционных районов и проведения испытаний топогеодезических и навигационных комплексов на существенно более высоком точностном уровне.

В основу технической составляющей оборудования Единого комплекса АГНО планируется положить системы астрономо-геодезического и навигационного обеспечения, разработанные и разрабатываемые МОУ «ИИФ» в ходе профильных НИОКР с применением отечественной элементной базы в интересах ВС РФ.

Тактико-технические характеристики этих систем в несколько раз превосходят российские и зарубежные аналоги по точности и срокам определения ИГД, а войсковая эксплуатация показала достаточно высокий уровень эффективности, что обусловливает целесообразность использования их возможностей в межвидовом формате.

Все вышеперечисленное позволит создать в ВИТ «ЭРА» межвидовой комплекс, который обеспечит существенное повышение точности получения ИГД и эффективности систем наведения авиационного, морского и сухопутного оружия различного класса, а также позволит сократить сроки и повысить качество испытаний существующих и разрабатываемых средств ТГНО.

Кроме того, за счет комплексного применения измерительных и геоинформационных технологий Единым комплексом АГНО будут решаться задачи совершенствования высокоточных средств подготовки ИГД и задачи повышения качественных параметров геодезических, гравиметрических и азимутальных измерений.

Целесообразность создания Единого комплекса АГНО на базе ВИТ «ЭРА» обусловливается следующими критериями:

- уникальные условия расположения Технополиса (более 280 солнечных дней в году) обеспечат практически беспрерывные измерения и испытания, зависящие от ясной погоды, и значительно сократят сроки их проведения;
- для обработки результатов проводимых измерений и исследований имеется возможность задействовать современный Центр обработки данных Технополиса;
- расположение Технополиса на морском побережье позволит одновременно решать сухопутные и морские навигационные задачи;
- для размещения основного сооружения и геодезического полигона Единого комплекса АГНО имеется необходимая площадь, находящаяся в собственности МО РФ;
- Технополис располагает энергетической базой, средствами связи и развитой сетевой структурой, достаточными для обеспечения устойчивого функционирования комплекса.

В настоящее время в ВИТ «ЭРА» сформирована 11-я испытательная лаборатория геоинформацинных платформ военного назначения для проведения экспериментальных исследований, эталонирования и испытаний разрабатываемых топогеодезических и навигационных средств.

На ее базе планируется осуществить практические мероприятия по плану инициативной научно-исследовательской работы Института, основными результатами которой должны стать предложения:

- по совершенствованию существующих методик определения ИГД и технологий прицеливания различных средств поражения;
- по сокращению сроков и совершенствованию методик всех видов испытаний топогеодезических и навигационных систем;
- по совершенствованию методик обучения личного состава Топографической службы ВС РФ;

● по целям создания Единого комплекса АГНО, его основным задачам и организационно-штатной структуре.

В перспективе, совместно с формированием Единого комплекса АГНО, предполагается развернуть:

● сектор испытаний методов подготовки навигационных гравиметрических и магнитометрических карт;

● сектор подготовки навигационных гравиметрических карт на недоступных территориях и удаленных акваториях с помощью перспективных космических измерительных средств;

● сектор испытаний перспективного авиационного бистатического радиолокатора на акватории Черного моря, предназначенного для измерений характеристик водной поверхности и профиля геоида;

● сектор испытаний образцов перспективных наземных, воздушных и морских комплексных навигационных систем;

● наземный и прибрежный полигон для испытаний перспективных космических геодезических систем.

Проект создания Единого комплекса АГНО и предложения по его реализации были доложены на заседании Совета ВИТ «ЭРА». Решением Совета проект утвержден, а Институт инженерной физики получил статус участника Технополиса и приступил к практической реализации начальной стадии проекта.

Единый комплекс АГНО позволит существенно повысить точность общеземной геоцентрической системы координат, получения ИГД, эффективность систем наведения авиационного, морского и сухопутного оружия различного класса, качество поверок, калибровки и испытаний существующих и разрабатываемых средств ТГНО.

А.Г. Мурашов,
Вице-президент МОУ «ИИФ»
А.Ю. Махаев,
заместитель начальника управления навигационно-геодезических систем МОУ «ИИФ» по астрономо-геодезическому и навигационному обеспечению
О.А. Денисова,
помощник Вице-президента МОУ «ИИФ»

БИБЛИОТЕКА ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

МОУ «ИИФ» приступил к изданию серии книг «Библиотека Института инженерной физики». В ней публикуются научные труды сотрудников Института, коллег из других организаций, с которыми у Института установлены научные, творческие отношения.

К настоящему времени в рамках этого проекта издано три книги.

Емелин Н.М. и др. Управление инновационной деятельностью социально-организованных систем. Сборник статей и докладов (2008-2017 гг.). Серпухов: МОУ «ИИФ», 2019. 136 с.

Рассматриваются вопросы инновационной деятельности социально-организационных систем, таких как система непрерывного образования, наукограды, высшие учебные заведения, научно-образовательные центры. Излагаются технологии мониторинга их функционирования, оценки инновационного потенциала и систематизации инноваций. Анализируются направления сотрудничества вузов с предприятиями оборонно-промышленного комплекса, вопросы межотраслевого распространения результатов в сфере наноиндустрии. Предлагается методика выделения факторов, влияющих на целевые индикаторы проектов целевых программ.

Бугаков И.А., Царьков А.Н. Настоящий искусственный интеллект: методологические основания. Серпухов: МОУ «ИИФ», 2020. 418 с.

Излагаются методологические основания создания обладающего пониманием (настоящего) искусственного интеллекта (НИИ). В качестве направления, позволяющего устранить ограничения и недостатки нейронных сетей глубокого обучения, предлагается направление «From Deep Learning to Deep Understanding» (From DL to DU) – «От глубокого обучения к глубокому пониманию». Исследуется психика живого как прообраз психики роботов. Обосновывается важность автономизации специальной робототехники, на основе универсальной технологии интеллектуализации. Анализируются пути обеспечения дружественности НИИ. В качестве одного из основных природных принципов предлагается принцип минимальности и иллюстрируются его проявления-следствия в живой природе и технике. Исследуется сущность информации, вопросы ее появления, существования и восприятия. Описывается метод динамических измерений физических величин, основанный на анализе динамики состояния чувствительного элемента средства измерений, как наиболее соответствующий пространственно-временному поведению организмов с естественным интеллектом. Приводятся краткие описания некоторых проектов возможного применения НИИ.

Емелин Н.М. и др. Марковские модели процессов эксплуатации сложных технических систем. Сборник статей и докладов ФГБНУ «Госметодцентр» (2015-2019 гг.). Серпухов: МОУ «ИИФ», 2020. 98 с.

Приведены результаты исследования вопросов построения и использования марковских моделей эксплуатационных процессов, позволяющих обосновывать такие параметры, как периодичность и продолжительность различных эксплуатационных мероприятий, полноту и достоверность контроля технического состояния, экономические и материальные затраты, надежностные параметры и целый ряд других. Предлагаются новые информационные и сетевые методы исследования эксплуатационных процессов сложных технических систем.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ОРИЕНТИРЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, СТРАТЕГИИ

Научный совет при Президиуме РАН по методологии искусственного интеллекта и когнитивных исследований (НСМИИ РАН) провел Всероссийский симпозиум «Искусственный интеллект: ориентиры, перспективы, стратегии». На симпозиуме с докладом «Искусственный интеллект: от «Глубокого обучения» к «Глубокому пониманию» («Artificial Intelligence: from «Deep Learning» to «Deep Understanding») выступил член НСМИИ РАН, вице-президент МОУ «ИИФ» по инновационным проектам, заслуженный изобретатель РФ, почетный работник науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Игорь Александрович Бугаков.

Доклад был посвящен обоснованию нового направления – «Deep Understanding» – DU («Глубокое понимание»), которое в ближайшее время должно стать основным трендом исследований в области ИИ, дополняя и развивая современное направление «Deep Learning» – DL («Глубокое обучение») с целью создания настоящего ИИ – НИИ (Real Artificial Intelligence – RAI), основным признаком которого является наличие глубокого понимания, демонстрируемого любым живым организмом с естественным интеллектом и базирующегося на его полной «модели мира», достаточной для существования (выживания) посредством действий в своей среде обитания. Глубина понимания определяет качество распознавания – основной операции интеллекта и глубину предвидения – основного предназначения интеллекта (глубина предвидения – глубина интеллекта, «управлять – значит предвидеть»). Путь развития ИИ один – «From DL to DU».

Понимание – это не только и не обязательно уровень сознания, о чем идет речь в Китайской комнате. Оно последовательно-параллельно бессознательно формируется на разных уровнях психики, затрагивая разные (в том числе абстрактные) уровни обобщения. Сознание – это высший уровень, высший этаж. Но в доме психики есть первый этаж, и даже подвал. По сути, именно о нем, даже не о первом этаже, а о подвале допсихики и говорит Р.Курцвейл, оптимистично приравнивая статистическое соответствия входа и выхода к истинному пониманию. Речь о первичной проекционной зоне, куда поступают физические сенсорные сигналы, формируя пространственно-временные паттерны, которые в живом организме перекодируются в первичный психический код, уже что-то означающий и имеющий смысл, формируемый в процессе сравнения этого кода с хранимой в памяти моделью мира.

В современных реализациях ИИ такого перекодирования нет. Так, при распознавании подаваемый на входы ИНС сенсорный сигнал преобразуется в единичный сигнал на одном из ее выходов. Модель мира такой обученной ИНС представляет собой множество паттернов, среди которых ИНС способна выделять, например, лицо человека. Однако понимания того, что такое не только лицо, но и линия, угол, форма, выявляемые по мере прохождения сенсорной информации по слоям и ее обобщения, где, как, почему и зачем они используются, у ИНС нет. Как следствие - грубые ошибки и легкость обмана, необходимость иметь большую репрезентативную выборку для обучения, непрозрачность, катастрофическая забывчивость.

Что требуется? «Всего лишь» дополнить глубокое обучение глубоким пониманием. Ввести понимание на каждый уровень ИНС (в каждый слой), создав на каждом уровне свою локальную модель мира, иерархически входящую в модели мира более высоких уровней и перекрывающуюся с моделями смежных уровней, образуя вместе с ними как базисными элементами иерархически-сетевое семантическое пространство с соответствующими категориями, значениями и смыслами символов и пространственно-временных образов. Наличие сознание при этом необязательно (существование бессознательного восприятия у взрослого, успешное развитие после рождения не осознающего себя ребенка – факты, подтверждающие это). Достаточно генетической предопределенности, задания программы (вектора) развития с полезными ограничениями, которая в живом играет существенную роль (в человеке генетически заданы, например, понимание добра и зла, справедливости, первичные языковые понятия, способность к творчеству, недопустимость инцеста и др.).

Никакой самоуправляемый автомобиль не должен ездить по дорогам общего пользования, пока у него не будет расширенной модели мира,

включающей не только дорожные знаки, разметку, другие автомобили с их характеристиками, но и, например, детей на обочине, играющих в мяч, с прогнозированием, учитывая детскую психику, их возможности внезапного появления на дороге; матраса, падающего из кузова впереди идущей машины, и пр. Можно, конечно, спрятать дорогу в тоннель, но это другая, существенно менее сложная и уже решенная задача (метро в ОЛЭ). Все определяет модель мира, ее адекватность и глубина.

Реализация глубокого понимания требует объединения возможностей глубокого машинного обучения и модернизированного классического символьного описания с использованием видового языка со своей семантикой, интеграции ИИ на основе данных с ИИ на основе знаний, широкого использования прямых, обратных и боковых нейронных связей для прогнозирования и активации наиболее вероятного с учетом имеющегося генетического и онтогенетического опыта, выявления и использования причинно-следственных и ассоциативных связей, осуществления пространственно-временной интеграции сигналов и смыслов,... .

Конечно, решение задачи придания машине присущей живому способности понимать весьма непросто, поскольку у нас нет достаточного понимания сущности понимания, механизмов его реализации в человеке. Непонятен процесс порождения физическими воздействиями психических ощущений, материальный носитель психического (недоступность для восприятия носителя восприятия). Говоря современным языком, психика – программа с закрытым исходным кодом. Но то, что уже известно, позволяет на основе функционального подхода пытаться искусственно создать функциональный аналог естественного. На этом пути возможно широкое использование логических интегральных схем (ЛИС) как генетической и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) как онтогенетической составляющих. Жизнь как разворачиваемая в пространстве-времени генетически заданная через ЛИС программа, наращивание и коррекция которой реализуется через ПЛИС. Конечно же, с использованием идей динамического восприятия, вероятностного прогнозирования (Байес), недоопределенной математики (Нариньяни), нечеткой логики, векторного квантования и др.

В докладе была отмечена нецелесообразность дальнейшего использования терминов «сильный интеллект» и «слабый интеллект» в получившем широкое распространение контексте, когда под первым понимают прикладной, узкоспециализированный интеллект, а под вторым – универсальный интеллект на уровне человека. Интеллектом обладает не только человек, но и многие другие живые существа (животные, птицы). Причем интеллект любого живого существа всегда универсален и при решении всех (в том числе узкоспециализированных) задач опирается на полную модель мира, позволяющую его носителю быстро и точно решать узкую задачу, а в целом – выживать и развиваться в своей среде обитания. Эта модель может быть очень простой, но она всегда полная, ориентированная на поведенческие возможности носителя интеллекта (интеллект служит телу и через развивается через его действия). Потому естественный интеллект не делят на общий (универсальный) и специализированный (прикладной), а тем более на «сильный» и «слабый» в том контексте, который используется сегодня применительно к ИИ. Такая метафоричность скорее вредит, чем помогает. Определение интеллекта как сильного или слабого допустимо в сравнительном плане применительно к особям одного вида, например, человека, отталкиваясь от нашего субъективного понимания типового, среднего интеллекта. В отдельных случаях это сравнение может касаться особей, стоящих на разных эволюционных уровнях развития. Но всегда применительно к полному, общему интеллекту. Узкоспециализированный ИИ, который приписывают сегодня ИНС, действительно слабый, но не столько из-за факта узкой специализации, сколько из-за того, как он реализован, на что опирается. Да, в «слабом» ИИ достигнуты некоторые успехи, но какой ценой? И можно ли доверить современному ИИ принятие важных решений? Потому узкая специализация интеллекта должна опираться на достаточно полную модель мира его носителя.

Рассмотрены проявления-следствия предложенного и разрабатываемого автором природного принципа минимальности как обобщения идеи «экономии» действия (физического движения) на любые природные (в том числе ментальные) процессы, как условия их осуществления и (или) эволюционного сохранения.

В заключении дан список ученых (в алфавитном порядке), знакомство с трудами которых помогло автору в проведении междисциплинарного обобщения знаний о естественном интеллекте как основы для создания настоящего ИИ: Анохин П.К., Бернштейн Н.А., Бехтерев В.М., Брудный А.А., Брунер Дж., Варела Ф., Веккер Л.М., Деан Станислас, Дубровский Д.И., Капра Ф., Крик Ф., Кэндел Э., Лоренц Конрад, Курдюмов С.П., Курцвейл Рэй, Матурана У., Поспелов Д.А., Пенроуз Р., Рамачандран В.С., Розов А.И. (Розетт И.М.), Сеченов И.М., Фрит К., Хинтон Д., Хокинс Д., Хомский Н.

AUTHORS

Aleksandrova Dinara I. Junior researcher, FSBI «MSMC» of the Ministry of defense of Russian Federation. Moscow reg., Mytishchi, Komarova str., 13.

Atakishchev Oleg I. Doctor of Technical Sciences, professor. Deputy General Director for Special Projects. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Basov Grigory B. Candidate of Technical Sciences, associate professor. Adviser to the general director of the Institute of Engineering Physics on special projects. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Berkovich Sergei B. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Navigation and Geodetic Systems. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Bikmayev Ramil R. Head of the Department of Navigation and Geodetic Systems. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

But Gennady S. Candidate of technical Sciences, associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya St., 17.

Butranov Andrey S. Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Butrina Elena P. Head of the LISZI group, Interregional Educational Institution. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Chernousov Maxim S. Adjunct. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Dmitriev Vladimir G. Candidate of Technical Sciences. The leading scientific employee of Institute of dynamics of geospheres of the Russian Academy of Sciences. Moscow, the Lenin prospectus, 38, the case 1.

Duzhov Sergey A. Lecturer, Department No. 7, Military Training Center Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Dzhelaukhyan Akop Y. Candidate of Technical Sciences. Deputy Head of the Faculty – Head of the Academic Unit Faculty of Automated Control Systems. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya St., 17.

Egorov Vladislav V. Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Elistratov Alexander V. Leading engineer. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Frolov Pavel V. Graduate student, «Information Security» Department, Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Galuza Elizaveta A. Master student, «Information processing systems» Department, Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Grachev Dmitry V. Head of the Laboratory of the Federal State Budgetary Institution «27 Central Research Institute» of the Ministry of Defense of Russia. Moscow, 1st Horoshevsky proezd, 5.

Gribunin Vadim G. Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation. Doctor of Technical Science. Chief Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Grishanenko Ruslan L. Officer.

Korobkov Alexey A. Candidate of Technical Sciences, associate Professor, head of scientific and methodological Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Kotov Nikolay I. Candidate of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the Department of Navigation and Geodetic Systems. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Kulik Maksim V. Head of the Department of planning of scientific work and training of scientific and scientific-pedagogical personnel of the Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Kuprijanov Alexander I. Doctor of Technical Sciences, Professor. Professor. Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

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.

Kuzin Evgeny N. Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. Senior Researcher. VA SRF behalf of Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, street Karbysheva, d. 8.

Leonovets Georgy V. Candidate of Military Sciences, Associate Professor. Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2-ya Baumanskaya str., 5.

Lesnykh Vadim N. Junior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

Ludogovskiy Denis A. Junior researcher of the Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, st. Karbysheva, 8.

Maslikov Alexander A. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. Head of the Integrated Physics Laboratory Branch «Protvino» State University «Dubna». Moscow region, Protvino, Severny passage, 9.

Mazin Anatoly V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of «Information Security», Kaluga Branch of Bauman MSTU. Kaluga, St. Bazhenova, 2.

Morozov Andrey Y. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the branch of the Military Academy of the Peter the Great Strategic Missile Forces in Serpukhov. Moscow region, Serpukhov, Brigadnaya str., 17.

AUTHORS

Mukhin Anatoly I. Candidate of Technical Sciences, lecturer. Military Space Academy A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Nakonechny Boris M. Candidate of Technical Sciences. Director. Department for the formation of the state defense order Government of the Russian Federation.

Nefedov Mikhail V. Senior researcher, FSBI «MSMC» of the Ministry of defense of Russian Federation. Moscow reg., Mytishchi, Komarova str., 13.

Oleinikov Vladimir P. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor. An expert LISZI. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Pavlenko Dmitry P. Teacher of the 55th department. Military Space Academy A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Perunov Uriy M. Doctor of Technical Sciences, Professor. General designer of electronic warfare. Chief Researcher. Institute of Dynamics of Geospheres RAS. Moscow, Leninsky Prospect, 38.

Poberezhsky Sergey Y. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. FSBEI of HE MAI (NRU). Moscow, Volokolamsk Highway, 4.

Rzhanykh Anton V. Candidate of Technical Sciences, teacher. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Sadekova Al`fiya A. Junior Researcher NIO-1. Federal State Autonomous Institution «Military Innovation Technopolis «ERA». Krasnodar reg., Anapa, Pionersky pr., 41.

Sal'ko Andrey E. Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the prize of the government of the Russian Federation in the field of science and technology. Deputy Director General for science and technology policy and inter-structural communications. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Sergeev Stepan S. Head of engineering calculation group, Public Joint Stock Company «Cryogenmash». Moscow region, Balashikha, Lenin Ave., 67.

Shakhov Alexander N. Senior officer. Main Department of Research and Technological Support of Advanced Technologies (Innovative Research) Ministry of Defense of the Russian Federation.

Sholokhov Aleksei V. Doctor of Technical Sciences, Professor, leading researcher of the Department of Navigation and Geodetic Systems. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

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 Udarny l., 1a.

Smirnov Yaroslav D. Head of Department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Smorodin Anatoly I. Honorary worker of science and technology of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor. Professor of the E-4 Department of the Moscow state technical University N. E. Bauman. Moscow, st. 2-nd Baumanskaya, d. 5.

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 Udarny l., 1a.

Sokolova Ekaterina A. Candidate of Technical Sciences. Senior researcher in research department, Federal State Autonomous Institution «Military Innovation Technopolis «ERA». Krasnodar reg., Anapa, Pionersky pr., 41.

Stelmakh Stanislav F. Candidate of Military Sciences, senior researcher. Military Space Academy A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Svistunov Fedor N. Teacher of the 55th department. Military Space Academy A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, ul. Zhdanovskaya, 13.

Timonov Andrey A. Officer.

Tsimbal Vladimir A. The honored worker of a science of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, professor. Professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Umnikov Evgeny V. Leading engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Ustinov Vladimir V. Post-graduate. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Volkov Gennadiy G. Doctor of physical and mathematical sciences, professor. Senior Researcher. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

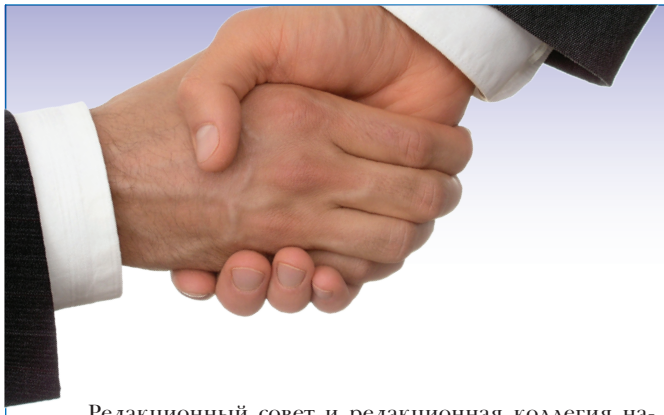
Yushkevich Nadezhda A. Planning specialist of the R&D planning department. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny l., 1a.

Zagarskih Vladimir I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Senior Researcher. VA SRF behalf of Peter the Great. Moscow reg., Balashikha, st. Karbysheva, d. 8.

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 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 Forse. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Zelenevsky Yury V. Doctor of Technical Sciences, associate professor. Researcher. Military Academy of the Strategic Missile Forse. Moscow Reg., Balashikha, Karbysheva st., 8.



ЭТИКА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Редакционный совет и редакционная коллегия научно-технического журнала «Известия Института инженерной физики» придерживаются принятых международным сообществом принципов публикационной этики, отраженных, в частности, в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Все статьи, предоставленные для публикации в журнале «Известия Института инженерной физики», проходят рецензирование на оригинальность, этичность и значимость. Соблюдение стандартов этического поведения важно для всех сторон, принимающих участие в публикации: авторов, редакторов журнала, рецензентов, издателя.

ОБЯЗАННОСТИ РЕДАКТОРА

Редактор в своей деятельности обязуется:

- постоянно совершенствовать журнал;
- следовать принципу свободы мнений;
- стремиться к удовлетворению потребностей читателей и авторов журнала;
- исключать влияние интересов бизнеса или политики на принятие решений об опубликовании материалов;
- принимать решения на основании принципа справедливости и беспристрастности, обеспечивать прозрачность редакционной деятельности на всех ее этапах;
- не раскрывать информацию о предоставленных материалах никому, кроме соответствующих авторов, рецензентов, других редакционных консультантов;
- оценивать рукописи исключительно по их научному содержанию;
- принимать решение о публикации материалов, руководствуясь следующими главными критериями: соответствие рукописи тематике журнала; актуальность, новизна и научная значимость представленной статьи; ясность изложения; достоверность результатов и законченность выводов. Качество исследования и его актуальность являются основой для решения о публикации;
- принимать меры для обеспечения высокого качества публикуемых материалов и защиты конфиденциальности персональной информации. При обнаружении содержательных, грамматических, стилистических и иных ошибок редакция обязуется предпринимать все меры для их устранения;
- обосновать свое решение в случае принятия или отклонения статьи;
- предоставить автору рецензируемого материала возможность для обоснования своей исследовательской позиции;
- поощрять дискуссии и предоставлять возможность для изложения точки зрения оппонентов;
- не использовать в собственных исследованиях информацию из неопубликованных материалов.

ОБЯЗАННОСТИ ЧЛЕНОВ РЕДСОВЕТА (РЕДКОЛЛЕГИИ)

Решение о публикации.

Редсовет (редколлегия) журнала «Известия Института инженерной физики» являются ответственными за принятие решения о том, какие статьи будут опубликованы в журнале. Решение принимается на основании представляемых на статью рецензий

Редсовет (редколлегия) придерживаются политики журнала и действуют в рамках законных требований, поскольку несут ответственность за нарушение авторских прав.

Конфиденциальность.

Рецензенты или кто-либо из сотрудников редакции не должны разглашать никакую информацию о предоставленной рукописи кому-либо, кроме самого автора, рецензентов, потенциальных рецензентов, членов редакционного совета (коллегии) и издателя, поскольку она является конфиденциальной.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Неопубликованные материалы, находящиеся в предоставленной статье, не должны быть использованы в собственном исследовании научного редактора и рецензентов без специального письменного разрешения автора.

ОБЯЗАННОСТИ РЕЦЕНЗЕНТОВ

Рецензенты оказывают помощь членам редакционного совета (редколлегии) при принятии редакционного решения, а также помогают автору усовершенствовать работу.

Конфиденциальность.

Любые рукописи, полученные для рецензирования, должны восприниматься как конфиденциальные документы. Они не могут быть показаны либо обговорены с другими лицами, кроме тех, которые уполномочены редакцией.

Подтверждение источников.

Рецензенты должны идентифицировать опубликованную работу, которая не была процитирована автором. Любое утверждение, что наблюдение, происхождение либо аргумент ранее были сообщены, необходимо сопровождать соответствующей ссылкой. Рецензент должен также донести до сведения редакции о любой существенной схожести или частичном совпадении между рукописью, которая рецензируется, и другой уже опубликованной работой, которая ему знакома.

Раскрытие информации и конфликт интересов.

Приватная информация или идеи, возникшие в процессе рецензирования, должны остаться конфиденциальными и не могут быть использованы в личных интересах. Рецензент не должен рассматривать рукопись, если имеет место конфликт интересов в результате его конкурентных, партнерских либо других отношений или связей с кем-либо из авторов, компаний или организаций, связанных с материалом публикации.

ОБЯЗАННОСТИ АВТОРОВ

Оригинальность и плагиат.

Авторы должны гарантировать, что они написали полностью оригинальную работу. Если авторы использовали работу и/или слова других авторов, это должно быть соответственно указано и процитировано.

Доступ к данным и сохранность.

Автор должен быть готов обеспечить доступ к данным, связанными с материалом публикации, если таковой возможен. Во всяком случае, автор должен быть готов сохранять такие данные на протяжении разумного периода времени после опубликования.

Многоразовая, избыточная или конкурирующая публикация.

Автор не должен публиковать работы, которые описывают по сути одно и то же исследование, более чем один раз или более чем в одном журнале.

Предоставление рукописи более чем в один журнал одновременно означает неэтичное издательское поведение и является недопустимым.

Подтверждение источников.
Необходимо предоставлять должное подтверждение работ других авторов. Авторы должны процитировать публикации, которые имели значение при создании заявленной работы.

Авторство материала.
Авторство необходимо ограничить теми лицами, которые внесли ощутимый вклад в концепцию, проект, исполнение или интерпретацию заявленной работы. Всех, кто внес ощутимый вклад, следует внести в список соавторов.

Автор должен гарантировать, что список авторов содержит только действительных авторов и в него не внесены те, кто не имеет отношения к данной работе, а также то, что все соавторы ознакомились и одобрили окончательную версию статьи и дали согласие на ее публикацию.

Раскрытие информации и конфликт интересов.
Все авторы должны сообщать, если в их работе имеется финансовый либо другой конфликт интересов, который может повлиять на результаты или интерпретацию их рукописи.

Ошибки в опубликованных работах.
Если автор обнаружит существенную ошибку или неточность в своей опубликованной работе, его обязанность – незамедлительно сообщить об этом в редакцию журнала или издателю и сотрудничать с редакцией при исправлении ошибок.

НАРУШЕНИЯ

При возникновении ситуации, связанной с нарушением публикационной этики со стороны редактора, автора или рецензента, требуется ее обязательное рассмотрение. Редакционный совет (редколлегия) обязана потребовать разъяснения, без привлечения лиц, которые могут иметь конфликт интересов с одной из сторон.

Если материал, содержащий значительные неточности, был опубликован, он должен быть незамедлительно исправлен в форме, доступной для читателей и систем индексирования.

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый 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.

INTERREGIONAL PUBLIC INSTITUTION
"INSTITUTE OF ENGINEERING PHYSICS"
(SCIENTIFIC, EDUCATIONAL AND INDUSTRIAL INSTITUTION)

CONTENTS

INSTRUMENT MAKING, METROLOGY AND INFORMATION–MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

Berkovich S.B., Bikmayev R.R., Kotov N.I., Shakhov A.N., Ustinov V.V., Sholokhov A.V.
Evaluation of the efficiency of using geospatial data in the problem of autonomous determination of coordinates by a ground navigation system.... 2

Stelmakh S.F., Basov G.B.
Analysis of the state of development and prospects for the use of the «Soyuz-5» launch vehicle 10

Korobkov A.A., Smorodin A.I., Sergeev S.S., Kulik M.V., Sadekova A.A.
Analysis of scheme solutions of the cooling process of cryogenic products designed for rocket 16

Morozov A.Y., Butranov A.S.
Some questions of modeling of non-stationary thermal processes in a multilayer package of thermal insulation materials with an additional heated layer 22

Zakharov V.L., Smirnov D.V., Poberezhsky S.Y.
Space observation methods 27

Nefedov M.V., Aleksandrova D.I.
Model of measurements error of three-antenna method for determine of antenna factors of magnetic loop antennas 30

Smurov S.V., Sal'ko A.E., Zagarskih V.I., Kuzin E.N.
Some aspects of the initiation of equipment in translators of detonation commands 35

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

Zelenevsky V.V., Chernousov M.S., Zelenevsky Y.V., Egorov V.V., Rzhanykh A.V., Dzhelaukhyan A.Y., Nakonechny B.M.
Statistical analysis of noise immunity and reliability of a decameter-band relay communication channel with data code compaction 39

Atakischev O.I., Mukhin A.I., Pavlenko D.P., Svistunov F.N.
Selection and adaptation of a statistical criterion for solving problems of identification of radio emission sources 45

Perunov J.M., Dmitriev V.G., Kuprijanov A.I.
Destructive impact on the environment of signal propagation in information radio channels 49

Tsimbal V.A., Ludogovskiy D.A.
Investigation of the influence of searching discipline on the quality of communication services in systems with loose channels operating in conditions of inaccessibility and unusual traffic with loose channels 54

INFORMATION SCIENCE, COMPUTING AND MANAGEMENT

Kolombet V.A., Elistratov A.V., Lesnykh V.N.
About the preferred universal settings for multi-resonant devices 59

But G.S.
Mathematical model of water cooling process in the treatment facilities of enterprises 64

Gribunin V.G., Grishanenko R.L., Timonov A.A., Smirnov Y.D.
On the design of an information security system for computerized weapons 69

Sokolova E.A., Yushkevich N.A.
Method of identifying maneuvering spacecraft based on neural network classification of radar images 75

Frolov P.V., Galuza E.A., Mazin A.V., Leonovets G.V., Duzhov S.A.
Application of Blockchain technology for storing signs of network attacks in IDS systems 78

Grachev D.V., Umnikov E.V.
About the possibility and prospects of using artificial intelligence technology in the creation of information security systems 82

Butrina E.P., Oleinikov V.P.
Security – objects and events 86

Volkov G.G., Maslikov A.A., Smurov S.V.
On the genealogical tree of quantum states in toric projective geometry 91

SCIENTIFIC REVIEWS. SCIENTIFIC CRITIQUES. COMMENTS

Murashov A.G., Makhaev A.Y., Denisova O.A.
Institute of Engineering Physics – participant of the Military Innovative Technopolis «ERA» 97

Library of the Institute of Engineering Physics 100

EVENTS

Artificial Intelligence: landmarks, prospects, strategies 101

AUTHORS 103
THE ETHICS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS 105
REQUIREMENTS TO AUTHORS 106

Учредитель и издатель – МОУ «ИИФ». Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а

Подписной индекс: 59190 по каталогу «Научно-технические издания» ОАО «Роспечать»

Адрес редакции: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
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 №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.
Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Подписано в печать 21.04.2021.
Дата выхода в свет 26.04.2021. Тираж 2000 экз. Цена свободная.
© Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (ИИФ), 2021

Межрегиональное общественное учреждение

«Институт инженерной физики»

(МОУ «ИИФ»)

научное, образовательное и производственное учреждение

142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный переулок, д. 1а
http://www.iifrf.ru e-mail:info@iifmail.ru
Тел.: +7(4967) 35-31-93, 35-13-71 факс: +7(4967) 35-44-20 моб.: +7 (499) 400-05-75