

**Труды Военно-космической
академии имени А.Ф. Можайского**
Научное рецензируемое издание
Выходит с 1942 года

Выпуск 666

2019 г.

Издатель:

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение
высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны Российской Федерации

Редакционный совет

Председатель:

Начальник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского
доктор техн. наук, профессор **М.М. Пеньков**

Члены редакционного совета:

С.В. Буг — заместитель начальника Михайловской военной артиллерийской академии
по учебной и научной работе *доктор пед. наук, проф.*;

В.П. Гаенко — главный научный сотрудник НИЦ БТС 12 ЦНИИ МО РФ
доктор техн. наук, проф., заслуженный деятель науки и техники;

А.М. Гончаров — заместитель начальника Военной академии воздушно-космической обороны
имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова по учебной и научной работе *доктор воен. наук, проф.*;

М.А. Еремеев — профессор кафедры института комплексной безопасности и специального приборостроения
ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» *доктор техн. наук, проф.*;

А.В. Кузичкин — заместитель генерального директора АО «Научно-исследовательский институт телевидения»
по информационным технологиям *доктор техн. наук, проф.*;

Б.В. Соколов — начальник лаборатории Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации
Российской академии наук *доктор техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ*;

К.Г. Ставров — начальник научно-исследовательского океанографического центра
Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института *доктор техн. наук, проф.*;

С.В. Чварков — заместитель начальника Военной академии Генерального штаба Вооруженных Сил
Российской Федерации по научной работе *доктор воен. наук, проф.*

Главный редактор:

доктор техн. наук, проф. **Ю.В. Кулешов**

Редколлегия:

председатель **Ю.В. Кулешов**, *доктор техн. наук, проф.*;

зам. председателя **И.В. Сахно**, *доктор техн. наук, проф.*;

ответственный секретарь **С.Г. Алёхин**, *кандидат техн. наук, доц.*;

Н.Ф. Аверкиев, *доктор техн. наук, проф.*; **В.Ф. Алексеев**, *доктор техн. наук, доц.*;

Т.В. Алексеев, *доктор истор. наук, доц.*; **А.П. Алёшкин**, *доктор техн. наук, проф.*;

В.Н. Арсеньев, *доктор техн. наук, проф.*; **Д.Н. Бирюков**, *доктор техн. наук, доц.*;

И.Ю. Еремеев, *доктор техн. наук, проф.*; **А.И. Замарин**, *доктор техн. наук, проф.*;

В.Н. Калинин, *доктор техн. наук, проф.*; **В.В. Клейменов**, *доктор техн. наук, проф.*;

В.В. Козлов, *доктор техн. наук, проф.*; **Н.С. Кужекин**, *кандидат филос. наук, проф.*;

В.Н. Кузьмин, *доктор воен. наук, проф.*; **Н.Б. Кунтурова**, *доктор пед. наук, доц.*;

А.Г. Ломако, *доктор техн. наук, проф.*; **Г.Н. Мальцев**, *доктор техн. наук, проф.*;

Ю.С. Мануйлов, *доктор техн. наук, проф.*; **Т.О. Мысливцев**, *доктор техн. наук*;

А.В. Паршуткин, *доктор техн. наук, проф.*; **Н.А. Репях**, *кандидат филос. наук, доц.*;

А.В. Харченко, *доктор техн. наук, доц.*; **К.Ю. Цветков**, *доктор техн. наук, проф.*;

А.В. Чарушников, *доктор воен. наук, проф.*

Издание зарегистрировано
Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзора).
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-45867 от 20 июля 2011 г.
Издание включено в перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы
основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук (с 01 декабря 2015 г.).
Издание включено в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Ответственный за выпуск:
начальник РИО **С.В. Чернышев**
Выпускающий редактор: *А.В. Головина*
Технический редактор
и компьютерная верстка: *О.В. Филиппова*
Техническая поддержка:
Т.Н. Румянцева

Адрес:
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13;
тел.: 8 (812) 347-97-69;
<http://trudvka.ru>

Подписано к печ. 28.03.2019.
Формат печатного листа 445×300/4.
Уч.-печ. л. 82,00. Уч.-изд. л. 40,50
Тираж 50 экз. Заказ 3698/70.
Отпечатано в типографии
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Ваганов А.А., Неелова О.Н., Онуфрей А.Ю.</i> Модель орбитальной группировки сверхмалых космических аппаратов для мониторинга чрезвычайных ситуаций	7
<i>Жигулин Ю.А., Романов А.В., Сугак В.П.</i> Задачи комплексного исследования устойчивости автоматизированных систем управления специального назначения	18
<i>Зыков Д.Д., Кузьмин В.Н., Малюгин А.В.</i> Анализ и формализация принципов принятия решений на применение сил и средств борьбы с воздушно-космическим противником	28
<i>Максимов В.А., Шушаков А.О.</i> Алгоритм построения гетерогенной системы хранения данных и управления ее функционированием на основе комбинирования способов размещения и кодирования неоднородных по важности данных	36

СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ, НАВИГАЦИЯ И ВОЕННАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

<i>Ананьев А.В., Гончаренко В.И., Лютин В.И.</i> Построение системы автоматического наведения беспилотных летательных аппаратов с применением комплексирования результатов наблюдения цели различными датчиками	47
<i>Зиннуров С.Х., Ковальский А.А., Ушанев К.В.</i> Имитационная модель и алгоритм адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении	58
<i>Ковальский А.А., Митряев Г.А., Новиков Е.А.</i> Алгоритм и методика оперативного планирования и распределения радиоресурса системы спутниковой связи для организации устойчивого управления орбитальной группировкой космических аппаратов	68
<i>Пименов В.Ф., Попов А.С.</i> Исследование эффективности оптимальной пространственной селекции помех в линейной антенной решетке по критерию минимума среднеквадратического отклонения	77
<i>Топчий П.Н., Харченко А.В.</i> Алгоритм определения корреляционной матрицы мешающего воздействия на основе последовательного преобразования базиса обработки сигнала	84

<i>Харченко А.В., Якимов В.Л.</i> Метод обработки телеметрической информации в фазовом пространстве бортовых динамических систем космических аппаратов	91
<i>Харченко А.В., Яшков С.А.</i> Алгоритм выбора порога при обработке шумоподобных сигналов с компенсацией скользящих по частоте гармонических помех на основе дискретного вейвлет-преобразования	102
СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Алексеев В.Ф., Андриевская В.Ю., Осипов А.Г., Прокофьев А.В.</i> К вопросу о разработке основ концепции геодезического обеспечения аэродромов государственной авиации.....	110
<i>Алексеев В.Ф., Осипов А.Г., Прокофьев А.В., Телеш В.А.</i> Методика создания синтетических карт оперативно-тактических свойств местности с использованием геоинформационных систем	115
<i>Алексеев В.Ф., Прокофьев А.В., Станиславичус Р-Б.Б.</i> Развитие понятийного аппарата метрологии при осуществлении геодезической деятельности...	121
<i>Войнов Д.С., Гурский С.М., Сазонов К.В., Уткин В.В.</i> Измерение временных параметров сигналов радиолокационных станций с использованием частотно-временных преобразований на основе морфологических алгоритмов	125
<i>Данилюк А.С., Медведев В.М., Сазонов К.В.</i> Оценивание размеров зоны возможного местонахождения объектов при утрате фактического контакта с ними ...	133
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	
<i>Гнидко К.О., Макаров С.А., Сергеев А.С.</i> Модель интеллектуальной системы поддержки принятия решений в целях выявления негативного информационно-психологического воздействия на обучающихся образовательных организаций Минобороны России и защиты от него	142
<i>Платонов А.А., Псарёв А.А.</i> Подход к выявлению дефектов программ на основе применения взаимодополняющих семантик	148
<i>Романченко А.М.</i> Использование информационной энтропии для распознавания типа информации в задачах обеспечения информационно-компьютерной безопасности	158
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	
<i>Зыков Д.Д., Матвеев А.А., Халиков Э.М.</i> Методика формирования баллистической структуры орбитальной группировки космических аппаратов в целях освещения обстановки в Арктике	163
<i>Тимофеев В.В., Цыбрин В.Г.</i> Стратегии использования запасных частей вычислительных комплексов автоматизированных систем военного назначения ...	167

РАЗРАБОТКА, ИСПЫТАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

<i>Арсеньев В.Н., Балувев С.Ю., Белихин Е.Н., Ядренкин А.А.</i> Оценивание характеристик точности определения координат космического объекта бортовыми оптико-электронными средствами космических аппаратов наблюдения за обстановкой в космическом пространстве.....	173
<i>Басотин Е.В., Загорный С.В., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л.</i> Модели экспертно-аналитического прогнозирования риска эксплуатации комплексов заправки ракет космического назначения при нечетких оценках вероятностей отказов и величины ущерба	180
<i>Бурмистров В.В., Зоткин М.Ю., Миронов В.И.</i> Расчет терминальной программы управления угловым разворотом космического робота по критерию минимума расхода топлива	184
<i>Ведерников М.В., Казимиров А.В., Ляшевский А.В.</i> К определению параметров работы трехзонного термохимического нейтрализатора	192
<i>Гузенко В.Л., Ковальский А.А., Пальгунов В.Ю.</i> Методика обоснования объемов работ по продлению назначенного ресурса наземных станций измерительного комплекса космодрома	197
<i>Калабин П.В., Сасункевич А.А., Фоминов И.В.</i> Анализ влияния ошибок формирования начальных относительных параметров движения сервисного космического робота на траекторию пассивного периодического облета некооперируемого космического аппарата	208
<i>Козлов Н.А., Прокофьев А.В., Рагимов Э.А., Сергеев Д.В.</i> Предложения по учету влияния деформаций линейной фазированной антенной решетки при расчете ее диаграммы направленности	218
<i>Захаров В.М., Наумчик И.В., Пеньков М.М., Сырцов Л.А.</i> Исследование степени черноты поверхностей различных материалов и влияние на нее температуры поверхностей	223
<i>Слатов С.В., Трофимов И.А.</i> Применение периодических режимов для уменьшения инструментальной погрешности маятникового акселерометра ...	230

ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ВОЙСК

<i>Башкирцев В.П., Шалонов Е.В.</i> Опыт реализации компетентностного подхода в формировании и развитии педагогического мастерства преподавателя военного вуза	236
--	-----

<i>Брякалов Г.А., Голубев М.А., Розанова Л.В.</i> К вопросу создания и использования в военной образовательной организации электронного портфолио обучающегося	242
<i>Дугин И.М., Шалонов Е.В.</i> Полифункциональность процесса нравственного воспитания в общеобразовательных организациях Министерства обороны ...	247
<i>Дулишкин Р.М., Касавцев М.Ю.</i> Модернизация процесса обучения военнослужащих при подготовке суточного наряда с применением программы для ЭВМ в условиях повседневной деятельности	252
<i>Иноземцева Л.А., Кужекин Н.С., Репях Н.А., Хрустова А.Н.</i> Формирование готовности к педагогической деятельности в военно-учебном заведении при освоении программы профессиональной переподготовки педагогических работников	261
<i>Казахов Б.Д., Колягин Д.А., Шалонов Е.В.</i> Рекомендации по формированию у слушателей и курсантов военных образовательных организаций навыков аналитической работы при принятии решений	266
<i>Кунтурова Н.Б., Мосин Д.А., Селихина Н.В., Шалонов Е.В.</i> Оценивание профессиональной компетентности военного специалиста при реализации дополнительной профессиональной программы повышения квалификации ...	271
<i>Лагун А.В., Скутницкий В.М., Слатов В.Л., Фарафонов А.В.</i> Выбор и апробация программной оболочки для разработки и создания интерактивных электронных учебников и обучающих курсов (модулей) для подготовки военных специалистов	278
<i>Новиков Е.А., Севастьянов Д.А., Фадеев А.С., Цветков К.Ю.</i> Концепция создания межведомственного цифрового образовательного кластера подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения	285
<i>Репях Н.А., Терещук С.С.</i> Коррупционные правонарушения: признаки, виды и особенности проявления в условиях военной службы	296
Рефераты статей	306
Сведения об авторах	316
Сведения о рецензентах	325

А.А. Ваганов;
О.Н. Неелова;
А.Ю. Онуфрей,
доктор техн. наук, профессор

МОДЕЛЬ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ СВЕРХМАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Представлена модель, позволяющая выполнить расчет ширины полосы непрерывного обзора космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в зависимости от высоты орбиты и угла поля зрения, а также расчет требуемого количества КА для глобального непрерывного обзора орбитальной группировкой (ОГ) оперативного обнаружения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Описан алгоритм расчета вероятности обнаружения ЧС. Предъявлены требования к системе связи.

Ключевые слова: космический аппарат, параметры орбиты, бортовая оптико-электронная аппаратура, мониторинг чрезвычайных ситуаций.

ВВЕДЕНИЕ

Создание и развитие космических средств и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является в настоящее время одним из важнейших направлений применения космической техники для социально-экономических и научных целей. В мире уже успешно эксплуатируются десятки космических аппаратов (КА) ДЗЗ [1].

Существует особая группа задач ДЗЗ, требующих решения в масштабе реального времени или в близком к нему, что подразумевает обзор поверхности Земли с периодичностью не более одного часа [2, 3]. К числу таких задач относятся: обнаружение стихийных гидрометеорологических явлений, очагов лесных пожаров; мониторинг состояния трубопроводов и обнаружение аварий на них; мониторинг быстро возникающих и исчезающих источников загрязнения окружающей среды; оперативное выявление чрезвычайных ситуаций (ЧС); выявление ресурсной облачности для тушения крупных лесных пожаров и других быстро протекающих процессов и явлений [1]. Обнаружение таких явлений из космоса осуществляется бортовой оптико-электронной аппаратурой (БОЭА) по их излучению в инфракрасном и видимом диапазонах. На сегодняшний день обнаружение ЧС происходит при помощи КА ДЗЗ, расположенных на круговых солнечно-синхронных орбитах со средними высотами 475–830 км («Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М») и геостационарных орбитах («Электро-Л») [3].

В первом случае периодичность наблюдения составляет от 2 до 16 дней. Для обеспечения требуемой периодичности наблюдения необходимо создавать орбитальную группировку (ОГ) с большим числом КА, что потребует, в свою очередь, больших финансовых и технологических ресурсов [4]. Для минимизации затрат на создание и эксплуатацию ОГ целесообразно добиться предельного уменьшения массы КА, вплоть до уровня сверхмалых КА (СМКА), т. е. КА массой до 100 кг. Исходя из этого перспективным направлением развития средств ДЗЗ является создание ОГ на основе СМКА.

При геостационарной орбите в зону обзора КА попадает значительная часть поверхности земного шара. Однако недостатком такого наблюдения является большая дальность до объекта, что затрудняет процесс обнаружения и снижает достоверность обнаружения ЧС. Для его устранения предлагается использовать низкоорбитальные группировки КА (высота орбиты до 2000 км) [1–3]. При этом уменьшится дальность наблюдения, что повысит мощность излучения, воспринимаемую БОЭА. Зона обзора в таком случае уменьшается, в связи с чем

возникает задача выбора вариантов построения ОГ для оптимизации зоны обзора и обоснования параметров БОЭА при ограничении высоты орбиты и состава ОГ.

С целью исследования данных вопросов предлагается модель ОГ СМКА непрерывного глобального мониторинга ЧС для выбора параметров БОЭА. Модель ОГ СМКА отражает наиболее существенные свойства и функции, выполняемые ОГ, для чего учитываются ее баллистическое построение, тип и количество СМКА, а также характеристики БОЭА и система связи.

Задача обнаружения ЧС на поверхности Земли может быть декомпозирована на ряд подзадач:

- расчета полосы обзора для одного СМКА;
- расчета необходимого количества СМКА по выбранной методике построения ОГ;
- оценки качества обнаружения по выбранным показателям.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Формализованная постановка задачи формулируется следующим образом. Для заданных характеристик ЧС (площадь и температура) и способа их наблюдения разработать модель ОГ СМКА для оперативного обнаружения ЧС, позволяющую рассчитывать вероятность правильного обнаружения ЧС.

Способ наблюдения задается характеристиками баллистического построения ОГ (тип, масса, количество СМКА и параметры их орбит), характеристиками БОЭА, представляющими собой вектор B :

$$B = \langle D_{\text{вх}}, \gamma, \lambda_{\text{min}}, \lambda_{\text{max}}, E_{\text{БОЭА}} \rangle,$$

- где
- $D_{\text{вх}}$ – диаметр входного зрачка;
 - γ – угол поля зрения БОЭА;
 - λ_{min} и λ_{max} – границы рабочего диапазона БОЭА;
 - $E_{\text{БОЭА}}$ – уровень внутренних шумов БОЭА.

Кроме того, следует учесть:

- Земля представляет собой шар радиусом 6371 км с равномерным распределением массы;
- рассматривается невозмущенное движение СМКА;
- влияние атмосферы, Луны, планет не учитывается;
- высота орбиты СМКА составляет от 200 до 5000 км;
- количество СМКА в ОГ – не более 200 штук.

Целью проведенной работы являлось исследование возможности создания ОГ СМКА для мониторинга ЧС в реальном масштабе времени.

РАСЧЕТ ПОЛОСЫ ОБЗОРА ДЛЯ ОДНОГО СМКА

Исходя из ограничений, СМКА – это КА массой до 100 кг, состоящий из следующих подсистем:

- системы электроснабжения;
- системы обеспечения температурного режима;
- системы связи;
- системы ориентации;
- полезной нагрузки в составе БОЭА и бортового вычислительного комплекса.

При моделировании СМКА необходимо учитывать отсутствие двигательной установки для максимального уменьшения его массы. Влияние возмущающих факторов на деградацию орбит и оценки срока активного существования, а также возможности перенацеливания БОЭА по углам рыскания и тангажа в рамках данной статьи не рассматриваются. Для простоты расчетов зоны обзора считаем, что БОЭА СМКА, находящегося на орбите (точка С),

направлена в надир, учитывая, что точка O_3 – центр Земли, (рис. 1) [5]. Область поверхности Земли, на которой возможно обнаружение ЧС, ограничена углом поля зрения БОЭА. Эту же область можно задать при помощи геоцентрического угла обзора, с вершиной в центре Земли.

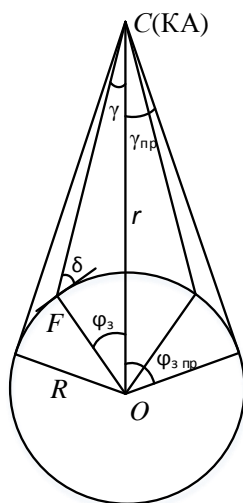


Рис. 1. Угол обзора одного СМКА

Геоцентрический угол обзора зависит от высоты орбиты и угла поля зрения БОЭА и определяется согласно выражению

$$\varphi_3 = \arcsin\left(\frac{r}{R}\sin\gamma\right) - \gamma,$$

где φ_3 ($\varphi_{3\text{пр}}$) – геоцентрический угол (предельный);

 R – радиус Земли;

r – радиус орбиты;

γ ($\gamma_{\text{пр}}$) – угол поля зрения БОЭА (предельный).

С увеличением угла поля зрения БОЭА до предельного значения, когда в поле зрения попадает весь земной шар, угол возвышения над горизонтом стремится к нулю (наблюдение по касательной к поверхности Земли). В этом случае предельный геоцентрический угол обзора определяется выражением

$$\varphi_{3 \text{ пр}} = \arccos \frac{R}{r},$$

а предельный угол поля зрения БОЭА – выражением

$$\gamma_{\text{пр}} = \arcsin \frac{R}{r}.$$

Зона обзора СМКА перемещается по поверхности Земли, при этом центр зоны обзора совпадает с подспутниковой точкой (так как БОЭА направлена в центр Земли). Ширина полосы обзора равна длине дуги с радиусом, равным радиусу Земли (при расчетах использовано значение $R = 6357$ км), и геоцентрическим углом φ_z и определяется выражением

$$W = 2R\varphi_3 = 2R \left[\arcsin \left(\frac{r}{R} \sin \gamma \right) - \gamma \right].$$

Значения предельного геоцентрического угла и ширины полосы обзора в зависимости от высоты орбиты СМКА ($H_{\text{ка}} = r - R$) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость $\varphi_{\text{пр}}$ и W от высоты орбиты СМКА

$H_{\text{ка}}, \text{ км}$	200	250	...	550	600	700	...	1400	1500	2000	...	5000	5500
$\varphi_{\text{пр}}, \text{ градусы}$	14,19	15,81	...	23,02	23,97	25,74	...	34,96	35,99	40,48	...	55,96	57,58
$W, \text{ км}$	3148	3509	...	5108	5319	5711	...	7758	7987	8982	...	12418	12777

Полученные значения предельного геоцентрического угла обзора являются исходными данными для расчета количества СМКА, необходимых для глобального непрерывного обзора поверхности Земли.

РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА СМКА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОГ

Глобальный непрерывный обзор подразумевает, что каждую точку на поверхности Земли видит, как минимум, один СМКА с некоторым минимальным углом возвышения. Простейшим примером глобального непрерывного обзора поверхности Земли является система цепочек СМКА на полярных орбитах. В каждой цепочке СМКА равномерно распределены по орбите на угловом расстоянии 2α (рис. 2).

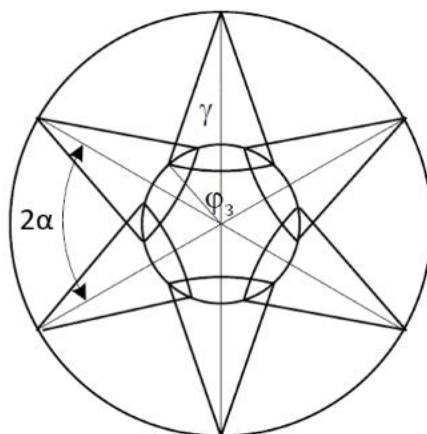


Рис. 2. Распределение СМКА в цепочке

Для непрерывного обзора необходимо, чтобы угловое расстояние было меньше, чем два геоцентрических угла обзора. Тогда

$$2\alpha = \frac{2\pi}{n} < 2\varphi_z, \quad (6)$$

где n – количество СМКА в цепочке;

2α – угловое расстояние между СМКА в цепочке.

Ширина полосы непрерывного обзора СМКА, определяемая геоцентрическим углом β , вследствие его движения будет меньше его ширины обзора W (рис. 3).

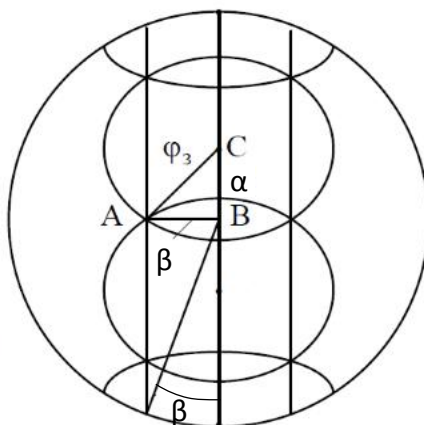


Рис. 3. Полоса непрерывного обзора СМКА

Для полного покрытия поверхности Земли выберем орбиты СМКА таким образом, чтобы полосы непрерывного обзора вплотную прилегали друг к другу на экваторе. Тогда при при-

ближении полос непрерывного обзора к полюсам они будут пересекаться. Для оценки количества необходимых СМКА воспользуемся известной методикой, рассмотренной в [5]. Количество СМКА в цепочке при неизменном угле поля зрения БОЭА будет зависеть от числа полос непрерывного обзора (плоскостей орбит) m . Значит,

$$n(m) = \begin{cases} \frac{\pi}{\alpha(m)}, & \text{если } \frac{\pi}{\alpha(m)} - \text{целое} \\ \left[\frac{\pi}{\alpha(m)} \right] + 1, & \text{если } \frac{\pi}{\alpha(m)} - \text{дробное} \end{cases},$$

где $\left[\frac{\pi}{\alpha(m)} \right]$ – целая часть от $\frac{\pi}{\alpha(m)}$, а $\alpha(m)$ и $\beta(m)$ определяются из следующих соотношений:

$$\alpha(m) = \arccos(1 + \cos\varphi_3 - \cos\beta(m)),$$

$$\beta(m) = \frac{\pi}{m}.$$

Таким образом, общее число СМКА в группировке N находится из выражения

$$N(m) = m \cdot n(m).$$

После нахождения всех $N(m)$ при заданном варианте $H_{\text{ка}}$ и γ выбираем среди них минимальное. Количество СМКА для глобального непрерывного обзора при различных углах поля зрения БОЭА приведено в табл. 2.

Таблица 2

Количество СМКА для системы непрерывного глобального обзора

$H_{\text{ка}}, \text{ км}$	200	400	600	700	800	1000	1200	1500	3000	5000
$\gamma, \text{ градусы}$	$N, \text{ количество КА}$									
20	75042	18700	8256	6090	4646	2960	2046	1300	312	105
25	45584	11319	4998	3654	2808	1770	1224	777	187	60
30	29631	7320	3234	2376	1798	1150	779	493	112	32
35	20079	4944	2170	1568	1200	756	512	322	66	
40	13858	3397	1479	1075	814	510	338	209	36	
45	9660	2343	1008	722	544	336	220	135		
50	6720	1595	680	480	364	210	136	77		
55	4600	1058	434	300	220	126	72			
60	3002	665	252	170	112					
65	1856	375	105							
70	987	112								
75	324									
$\gamma_{\text{пред}}$	162	84	60	50	45	40	32	28	18	12

Полученные значения N используются для выбора возможных вариантов $H_{\text{ка}}$ и γ исходя из ограничения на количество СМКА в ОГ.

СТРУКТУРА МОДЕЛИ ОГ СМКА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧС

Структурная схема модели ОГ СМКА для мониторинга ЧС представлена на рис. 4. Модель можно условно разделить на основные составляющие:

- блок моделирования баллистической структуры;
- блок моделирования целевой аппаратуры;
- блок моделирования системы связи между СМКА;
- блок моделирования ЧС.

Для обеспечения возможности обнаружения ЧС необходимо выполнение следующих условий:

- попадание зоны ЧС в зону обзора СМКА;
- такая чувствительность БОЭА, которая позволяет зафиксировать излучение ЧС заданной мощности;
- наличие канала связи с СМКА, обнаружившим ЧС.

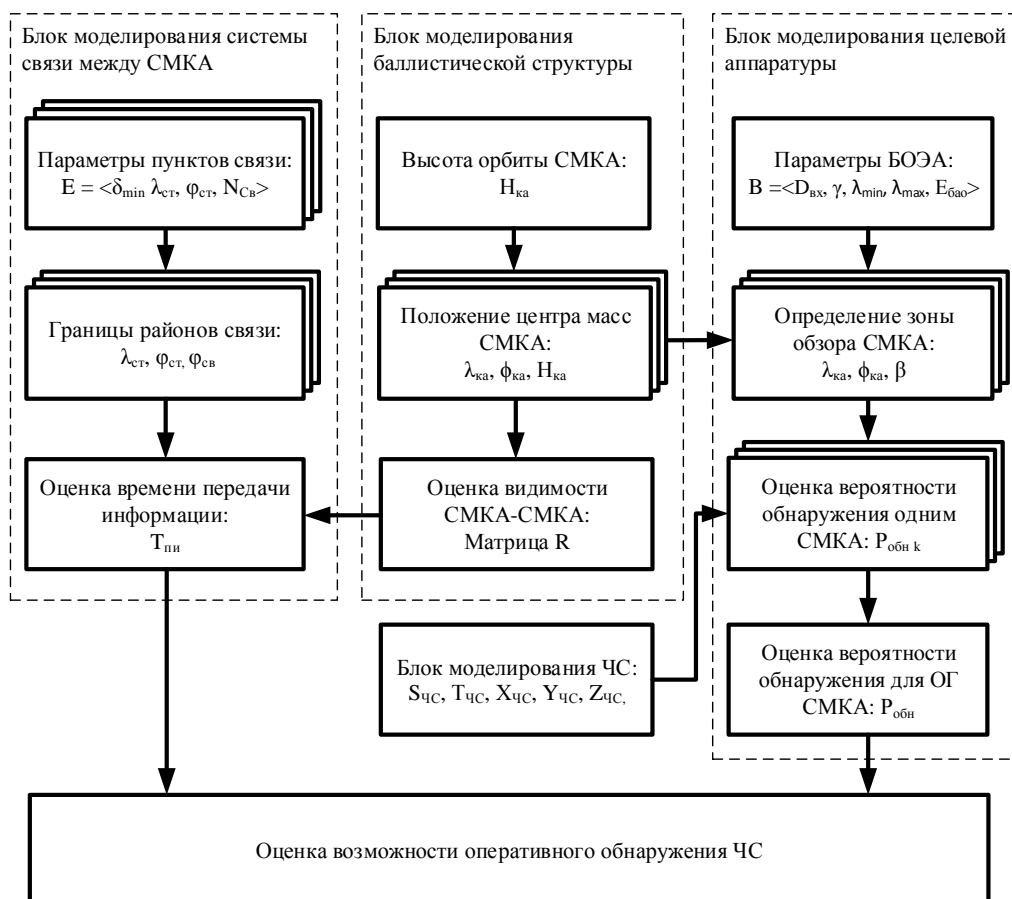


Рис. 4. Структурная схема модели ОГ СМКА для мониторинга ЧС

Вероятность достоверного обнаружения в общем случае выражается формулой, приведенной в [6],

$$P_{\text{дост}} = P_{\text{лт}} \frac{1}{1 + \frac{P_{\text{сигн}}}{P_{\text{шум}}}},$$

где $P_{\text{лт}}$ — вероятность ложной тревоги;
 $P_{\text{сигн}}$ — мощность полезного сигнала;
 $P_{\text{шум}}$ — мощность шумов.

Мощность шумов будем считать равной мощности собственных шумов БОЭА. При обнаружении высокотемпературных ЧС вероятность их обнаружения БОЭА, работающей в инфракрасном диапазоне, для k -того СМКА принимает вид

$$P_{\text{обн}k} = P_{\text{лт}} \frac{1}{1 + \frac{F_k}{E_{\text{БОЭА}}}},$$

где F_k — воспринимаемая БОЭА мощность излучения ЧС;
 $E_{\text{БОЭА}}$ — мощность собственных шумов БОЭА.

При попадании зоны ЧС в пересечение зон обзора нескольких СМКА вероятность обнаружения может быть оценена как вероятность не пропуска цели хотя бы одним из них:

$$P_{\text{обн}} = 1 - \prod_{k=1}^{N_{\text{вид}}} (1 - P_{\text{обн}k}),$$

где $N_{\text{вид}}$ – количество СМКА, в зону обзора которых попала зона ЧС.

Воспринимаемая БОЭА мощность излучения ЧС рассчитывается по формуле, приведенной в [7],

$$F_k = \frac{(D_{\text{вх}}/2)^2 \cdot S_{\text{вид}}}{R_{\text{нак}}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} J(\lambda, T) d\lambda,$$

где $\delta_{\text{ЧС}}$ – угол места СМКА в центре зоны ЧС;
 $S_{\text{вид}}$ – видимая площадь зоны ЧС
 $R_{\text{нак}}$ – расстояние между СМКА и центром зоны ЧС;
 $J(\lambda, T)$ – излучаемая энергия (по закону Планка для абсолютно черного тела).

Расстояние между СМКА и центром зоны ЧС рассчитывается в инерциальной геоцентрической системе координат (ИГСК) как расстояние между двумя точками по формуле

$$R_{\text{нак}} = \sqrt{(X_{\text{ЧС}} - X_{\text{КА}})^2 + (Y_{\text{ЧС}} - Y_{\text{КА}})^2 + (Z_{\text{ЧС}} - Z_{\text{КА}})^2},$$

где $X_{\text{ЧС}}, Y_{\text{ЧС}}, Z_{\text{ЧС}}$ – координаты центра зоны ЧС;

$X_{\text{КА}}, Y_{\text{КА}}, Z_{\text{КА}}$ – координаты СМКА.

Угол между оптической осью объектива и направлением на центр зоны ЧС $\zeta_{\text{ЧС}}$ в геоцентрической прямоугольной системе координат будет определяться как угол между векторами, направленными из СМКА в центр Земли ($-X_{\text{КА}}, -Y_{\text{КА}}, -Z_{\text{КА}}$) и в центр зоны ЧС ($X_{\text{ЧС}} - X_{\text{КА}}, Y_{\text{ЧС}} - Y_{\text{КА}}, Z_{\text{ЧС}} - Z_{\text{КА}}$). Тогда

$$\zeta_{\text{ЧС}} = \arccos\left(\frac{-X_{\text{КА}}(X_{\text{ЧС}} - X_{\text{КА}}) - Y_{\text{КА}}(Y_{\text{ЧС}} - Y_{\text{КА}}) - Z_{\text{КА}}(Z_{\text{ЧС}} - Z_{\text{КА}})}{\sqrt{X_{\text{КА}}^2 + Y_{\text{КА}}^2 + Z_{\text{КА}}^2} \cdot \sqrt{(X_{\text{ЧС}} - X_{\text{КА}})^2 + (Y_{\text{ЧС}} - Y_{\text{КА}})^2 + (Z_{\text{ЧС}} - Z_{\text{КА}})^2}}\right).$$

Видимая площадь зоны ЧС определяется выражением

$$S_{\text{вид}} = S_{\text{ЧС}} \cdot \cos \delta_{\text{ЧС}},$$

где $S_{\text{ЧС}}$ – площадь зоны ЧС.

Схема наблюдения ЧС и угол наблюдения представлены на рис. 5.

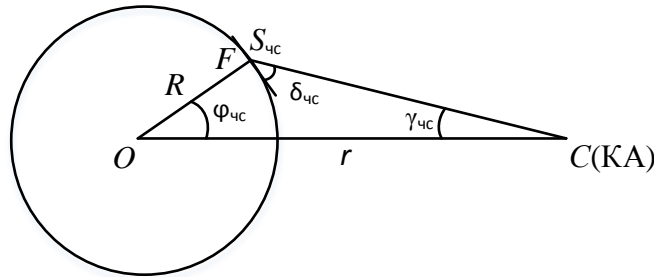


Рис. 5. Схема наблюдения ЧС

По теореме синусов из треугольника CFO

$$\frac{\sin \zeta_{\text{ЧС}}}{R} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} + \delta_{\text{ЧС}})}{r},$$

$$\cos \delta_{\text{ЧС}} = \frac{r}{R} \sin \zeta_{\text{ЧС}}$$

По формуле Планка, в зависимости от длины волны, излучаемая энергия рассчитывается из выражения

$$J(\lambda, T) = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5 (\exp(\frac{2\pi \hbar c}{\lambda k T}) - 1)},$$

где \hbar – приведенная постоянная Планка ($1,054\,571\,800 \times 10^{-34}$ Дж·с);
 c – скорость света в вакууме (299792458 м/с);
 λ – длина волны, мкм;
 k – постоянная Больцмана ($1,380\,648\,52 \times 10^{-23}$ Дж·К);
 T – абсолютная температура, К.

Для расчета вероятности обнаружения необходимо выбирать следующие характеристики:

1) характеристики БОЭА, представляющие собой вектор B :

$$B = \langle D_{\text{вх}}, \gamma, \lambda_{\min}, \lambda_{\max}, E_{\text{БОЭА}} \rangle,$$

2) высоту орбиты СМКА $H_{\text{КА}}$;

3) характеристики ЧС:

– площадь ЧС $S_{\text{ЧС}}$;

– температуру ЧС;

4) вероятность ложной тревоги $P_{\text{ЛТ}}$.

Возможные значения и диапазоны изменения таких характеристик приведены в табл. 3.

Таблица 3

Диапазоны изменения значимых характеристик

Характеристика		Минимум	Максимум
БОЭА	Диаметр входного зрачка, мм	80	100
	Угол поля зрения, градусы	20	75
	Границы рабочего диапазона длин волн, $\lambda_{\min} - \lambda_{\max}$, мкм [9]	3,0	5,5
	Уровень внутренних шумов БОЭА, Вт	8	14
Высота орбиты СМКА, км		-	$\sim 10^{-11}$
ЧС	Площадь ЧС, га [10]	200	5000
	Температура ЧС, К [8]	1	-
Вероятность ложной тревоги		700	1500
		-	$\sim 10^{-6}$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СМКА В ПРОСТРАНСТВЕ

Для расчета расстояний и углов необходимо знать положение СМКА и ЧС в пространстве. Положение ЧС будем считать исходными данными. Рассматриваемая ОГ СМКА расположена на полярных круговых орбитах, поэтому положение СМКА в пространстве будет определяться высотой орбиты $H_{\text{КА}}$, долготой восходящего узла Ω и истинной аномалией u . Положение центра масс СМКА в полярной геоцентрической системе координат определяется географическими координатами подспутниковой точки и высотой орбиты СМКА.

Географическая долгота

$$\lambda_{\text{ка}} = \begin{cases} \Omega + \omega_3 t, & \cos u \geq 0 \\ \Omega + \omega_3 t + \pi, & \cos u < 0 \end{cases}$$

где Ω – долгота восходящего узла;

ω_3 – угловая скорость вращения Земли;

t – время;

u – истинная аномалия.

Географическая широта

$$\varphi_{\text{ка}} = \arcsin(\sin(u)).$$

Зависимость истинной аномалии от времени определяется следующим соотношением:

$$u = u_0 + \omega_{\text{ка}} t,$$

где u_0 – истинная аномалия в начальный момент времени;

$\omega_{\text{ка}}$ – угловая скорость СМКА.

При равномерном распределении СМКА по орбитам u_0 будет принимать значения $0, 2a, 4a, \dots, 2\pi-2a$. Угловая скорость СМКА определяется по формуле

$$\omega_{\text{ка}} = \sqrt{\frac{\mu}{r^3}},$$

где μ – гравитационный параметр ($\mu = 398600 \text{ км}^3/\text{с}^2$).

Для расчета расстояний между точками и углов между векторами удобнее использовать ИГСК. Матрица перехода из ГСК в ИГСК имеет вид

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cdot \cos(\lambda + \omega_3 t) \cdot \cos(\varphi) \\ r \cdot \sin(\lambda + \omega_3 t) \cdot \cos(\varphi) \\ r \cdot \sin(\varphi) \end{pmatrix}$$

УЧЕТ ВРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ СМКА И НАЗЕМНЫМ ПУНКТОМ СВЯЗИ

При глобальном непрерывном контроле поверхности Земли наблюдатель в любой точке на поверхности Земли видит, как минимум, один из СМКА. Наблюдателем в данном случае является наземный пункт связи, постоянно имеющий в сеансе связи, как минимум, один СМКА. Система связи между СМКА предусматривает возможность передачи информации по четырем направлениям: передача на два соседних СМКА в одной плоскости орбиты и на два ближайших СМКА в соседних плоскостях орбит. Передача информации между СМКА об обнаружении ЧС осуществляется по цепочке: от обнаружившего ЧС до находящегося в сеансе связи с наземным пунктом. Число СМКА, участвующих в передаче информации, не будет превышать числа, необходимого при обнаружении ЧС на максимальном удалении от наземного пункта (с противоположной точки поверхности Земли). В таком случае задействуется не более половины СМКА в цепочке одной из орбит и по одному СМКА каждой из оставшихся цепочек:

$$N_{\text{пи}} \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor + (m - 1),$$

где $N_{\text{пи}}$ – число СМКА, участвующих в ретрансляции сигнала об обнаружении ЧС;

$\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$ – целая часть от половины количества СМКА в цепочке;

m – количество орбит цепочек СМКА.

Связь можно оценить по следующим показателям:

- числу каналов связи $N_{\text{св}}$;
- времени передачи информации $T_{\text{пи}}$;
- пропускной способности каналов.

Под числом каналов связи будем понимать количество СМКА, находящихся в сеансе связи с наземной станцией. Для повышения надежности передачи информации возможно ее дублирование по нескольким маршрутам с наименьшим количеством ретрансляций. Время передачи информации в цепочке из СМКА длиной k может быть оценено по формуле

$$T_{\text{пи}} = T_{\text{обн}} + \sum_{k=1}^{N_{\text{пи}}} T_{\text{ретр}} + \sum_{k=1}^{N_{\text{пи}}} T_{k,k+1},$$

где $T_{\text{обн}}$ – время, необходимое для обработки изображения и принятия решения об обнаружении ЧС;

$T_{\text{ретр}}$ – время, необходимое для приема информации об обнаружении и для ее последующей передачи;

$T_{k,k+1}$ – время следования сигнала между k -м и $(k+1)$ -м СМКА.

Скорость распространения радиоволн в вакууме равна скорости света в вакууме ($299\,792\,458 \text{ м/с}$), поэтому

$$T_{k,k+1} = \frac{R_{k,k+1}}{c},$$

где $R_{k,k+1}$ – расстояние между k -м и $(k+1)$ -м СМКА (для $k = N_{\text{пи}}$ $R_{N_{\text{пи}}, N_{\text{пи}}+1} = H_{\text{КА}}$).

Расстояние между СМКА определяется как расстояние между двумя точками в трехмерном пространстве по выражению

$$R_{k-1,k} = \sqrt{(X_k - X_{k-1})^2 + (Y_k - Y_{k-1})^2 + (Z_k - Z_{k-1})^2},$$

где X, Y, Z – координаты СМКА в геоцентрической системе координат.

Расстояния между СМКА можно представить в виде матрицы смежности R размером $N \times N$, в которой значения элементов соответствуют расстоянию между СМКА:

$$R = \begin{pmatrix} 0 & R_{1,2} & \cdots & R_{1,N} \\ R_{2,1} & 0 & \cdots & R_{2,N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{N,1} & R_{N,2} & \cdots & 0 \end{pmatrix},$$

где при отсутствии линии связи между СМКА значение элемента матрицы равно ∞ ; 0 – линия связи СМКА с самим собой.

Решение задачи поиска кратчайшего пути между двумя вершинами графа, заданного матрицей R , позволит определить требуемое количество СМКА и оценить время передачи информации $T_{\text{пи min}}$.

Кроме времени передачи информации необходимо оценивать возможность передачи формируемого БОЭА объема информации. Существуют два способа передачи информации от СМКА до потребителя:

- передача всей информации в режиме реального времени с последующей обработкой наземными средствами;
- предварительная обработка на борту СМКА и передача информации только об обнаруженных ЧС или при функциональном контроле средств.

В первом случае из-за больших объемов передаваемой информации основная нагрузка будет лежать на средствах связи. Объем специальной информации, передаваемый с одного СМКА в единицу времени, можно оценить как произведение разрешающей способности, радиометрического разрешения и частоты обзора (кадров в секунду). При этом в сеансе связи с наземной станцией одновременно находятся до $N_{\text{св}}$ СМКА, а информация, передаваемая ими, будет собрана со всей ОГ.

В случае предварительной обработки информации на борту СМКА требования к пропускной способности резко уменьшаются. Одновременно необходимо передавать информацию только с $N_{\text{вид}}$ СМКА. Вместе с тем возникает необходимость размещения на борту СМКА вычислительного комплекса, что приведет к увеличению его массы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена возможность построения низкоорбитальной группировки СМКА для непрерывного глобального мониторинга земной поверхности.

Разработана структурная модель, включающая блок моделирования баллистической структуры, блок моделирования целевой аппаратуры, блок моделирования системы связи между КА, блок моделирования ЧС.

Блок моделирования баллистической структуры позволяет, варьируя значениями высоты орбиты и угла поля зрения БОЭА, получать различные варианты построения ОГ и выделять среди них вариант с минимальным количеством СМКА. Полученные в результате моделирования значения количества СМКА и параметров их орбит являются исходными данными для определения требуемых параметров БОЭА и расчета вероятности обнаружения ЧС. Выбор параметров является оптимизационной задачей, представляющей собой процедуру максими-

зации вероятности обнаружения ЧС при заданных ограничениях к ОГ и параметров БОЭА. Использование низкоорбитальных СМКА является одним из возможных вариантов повышения оперативности обнаружения ЧС. Определение состава ОГ и характеристик БОЭА на этапах проектирования целесообразно осуществлять на основе моделирования.

Недостатками представленной модели являются упрощенное представление о форме Земли, отсутствие учета возмущающих факторов на движение СМКА, а также избыточный контроль всей поверхности Земли.

Направления дальнейшего совершенствования модели заключаются в учете эллиптической формы Земли и влияния возмущающих факторов на движение СМКА, а также выборе отдельных районов для контроля.

Список используемых источников

1. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года / Федеральное космическое агентство. – URL: <http://www.gisa.ru/file/file766.doc> (дата обращения: 1.09.2018).
2. Космические системы ДЗЗ / Научный центр оперативного мониторинга Земли. – URL: http://www.ntsomz.ru/ks_dzz/satellites (дата обращения: 1.09.2018).
3. Задачи обработки многозональных видеоданных КМСС на КА "Метеор-М" / Б.С. Жуков, А.С. Василейский, М.М. Железнов и др. – URL: <http://www.iki.rssi.ru/earth/pres2006/zhuikov.pdf> (дата обращения: 1.09.2018).
4. Лупян Е.А., Барталёв С.А. Проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса // Земля и Вселенная. – 2011. – № 3. – URL: <http://naukarus.com/sputnikovyenablyudeniya-zemli> (дата обращения: 1.09.2018).
5. Власов С.А., Кульвиц А.В., Мосин Д.А. Баллистическое проектирование систем космических аппаратов: учебно-метод. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – С. 9–20.
6. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации. – М., 1978. – 608 с.
7. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Сов. радио, 1978. – 400 с.
8. Савицкий А.М., Сокольский М.Н. Оптические системы объективов для малых космических аппаратов // Оптический журнал. – 2009. – №10. – С. 83–88.
9. Алеев Р.М., Иванов В.П., Овсянников В.А. Несканирующие тепловизионные приборы: Основы теории и расчета. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2004. – 228 с.
10. Мониторинг пожаров и их последствий с помощью ДЗЗ / Группа «MapExpert». – URL: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=25&table=news (дата обращения: 1.09.2018).
11. Иванов В.А., Иванова Г.А., Москальченко С.А. Справочник по тушению природных пожаров: Проект ПРООН/МКИ «Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона». – 2-е изд., перераб. и доп. – Красноярск, 2011. – 130 с.

Ю.А. Жигулин;
А.В. Романов;
В.П. Сугак,
доктор военных наук, профессор

ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С позиций системного подхода рассматривается одно из важнейших свойств сложных систем – устойчивость их функционирования. Рассматриваются основные проблемные вопросы комплексного исследования устойчивости. Предлагаются возможные пути формализации понятия устойчивости применительно к автоматизированным системам управления специального назначения. Разработаны методы оценивания и обеспечения требуемых уровней устойчивости.

Ключевые слова: сложная система, возмущающие воздействия, устойчивость, функции Ляпунова, цикл управления, жизненный цикл, программно-алгоритмические методы.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития науки предполагает новые подходы при исследовании и моделировании процессов функционирования сложных систем и объектов. При этом обязательными условиями являются обоснование концепций, положенных в основу исследования; формулировка и внедрение новых категорий, путей и способов изучения сложных, трудно формализуемых процессов поведения систем; интеграция научных знаний из различных областей в интересах успешного достижения результатов.

В настоящей статье рассматриваются основные вопросы комплексного исследования устойчивости функционирования автоматизированных систем управления специального назначения (АСУ СН).

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ «УСТОЙЧИВОСТЬ АСУ СН»

Проблема устойчивости возникает в том случае, когда в процессе функционирования системы имеют место возмущающие воздействия, которые нарушают нормальную работу системы и снижают ее возможности.

Под возмущением при системном анализе понимается любой фактор, действие которого, если не принять специальных мер, может привести к срыву выполнения задач, стоящих перед системой.

Источниками возмущений могут являться среда, сама система, а также целенаправленное воздействие другой стороны (противника). Возмущение среды связано с различными природными явлениями и геофизическими факторами (наводнения, землетрясения, бури, атмосферные явления и электромагнитные помехи). Сама система выступает в качестве источника возмущений в случае отказов аппаратуры и ошибок человека. На систему также может оказывать влияние широкий класс целенаправленных воздействий (огневое поражение, радиоэлектронное подавление, психологическое и психотропное воздействие на человека и др.).

Устойчивость управления следует рассматривать в двух аспектах: устойчивость функционирования собственно АСУ СН и устойчивость процесса управления при выполнении целе-

вых задач. Второй аспект, на наш взгляд, является более общим, так как включает в себя и первый.

Определения устойчивости можно сформулировать следующим образом.

Определение 1. Под устойчивостью функционирования системы управления понимается ее свойство сохранять свою работоспособность в условиях возмущающих воздействий. Она является комплексной характеристикой, связана со всеми частными характеристиками (свойствами) и определяется живучестью, помехоустойчивостью и надежностью системы.

Определение 2. Под устойчивостью управления следует понимать свойство системы своевременно вырабатывать и доводить до объектов управления правильные управляющие воздействия в условиях различного рода возмущающих воздействий.

В качестве пояснения введенных на вербальном уровне определений дадим формализованные определения устойчивости.

Будем рассматривать АСУ СН, состоящую из нескольких подсистем:

- подсистемы (А) наблюдения, обработки информации и выработки управляющих воздействий, состояние которой описывается вектором $S \in \Omega_s$;
- подсистемы (В) передачи управляющих воздействий, состояние которой задается вектором $R \in \Omega_r$;
- подсистемы (С) специальных технических средств, непосредственно выполняющих стоящие перед системой целевые задачи (ЦЗ). Ее состояние будем описывать вектором $N \in \Omega_n$.

При этом Ω_s , Ω_r и Ω_n – множества возможных состояний подсистем А, В и С соответственно.

Предположим, что на систему управления действуют возмущения, совокупность которых образует множество Ω_z , состоящее из множества целенаправленных Ω_Γ и множества случайных Ω_v возмущающих воздействий.

В соответствии с этим вектор возмущающих воздействий Z можно представить в виде двух составляющих: вектора целенаправленных возмущений $\Gamma \in \Omega_\Gamma$ и вектора случайных возмущений $V \in \Omega_v$, т. е.

$$Z = \|\Gamma^T V^T\| \in \Omega_z = \Omega_\Gamma \times \Omega_v.$$

Функционирование системы управления рассматривается на интервале времени σ , а выполнение системой целевых задач – на интервале $w = (t_0, t_f] \subset \sigma$. Выполнение ЦЗ достигается применением на интервале w специальных технических средств (подсистемы С) в соответствии с вектором управления $U \in \Omega_u$. Состояние выполнения целевых задач в момент времени t описывается вектором $Q(t, U, V, \Gamma, S) \in \pi, t \in w$, где множество π представляет определенную целевую программу, которая должна быть выполнена системой.

Определение 3. Считается, что АСУ СН будет устойчиво функционировать в условиях возмущений, если вероятность выполнения ЦЗ системой на w не менее требуемой вероятности P_T , т. е.

$$\inf_{\Gamma \in \Omega_\Gamma} P_v [Q(t, U, V, \Gamma, S) \in \pi, t \in w, U \in \Omega_u, V \in \Omega_v, \Gamma \in \Omega_\Gamma, S \in \Omega_s] \geq P_T. \quad (1)$$

Рассмотрим оценку влияния на выполнение ЦЗ собственно управляющей подсистемы, состояние которой описывается вектором $L = (S^T R^T)^T \in \Omega_L$, что обусловлено тем, что возмущения на эти подсистемы в течение интервала σ действуют на разных временных промежутках. Введем в рассмотрение множество $\Omega_L^+ \subset \Omega_L$ векторов L , которые обеспечи-

вают выполнение условия (1). Если вектор Γ можно разложить на два подвектора, один из которых Γ_L действует только на подсистемы А и В, а другой Γ_c – на С, и допустить, что $P_T = P_{LT}P_{CT}$, то условие (1) эквивалентно следующим двум:

$$\inf_{\Gamma \in \Omega_\Gamma} P_V [Q(t, N, U, Z) \in \pi, t \in w, N \in \Omega_N, U \in \Omega_U, Z \in \Omega_Z] \geq P_{CT}, \quad (2)$$

$$\inf_{\Gamma \in \Omega_\Gamma} P_V [L(t, Z) \in \Omega_L^+, t \in w, Z \in \Omega_Z] \geq P_{LT}. \quad (3)$$

Определение 4. Процесс функционирования технических средств автоматизации будем считать устойчивым, если выполняется условие (3).

Данное определение характеризует устойчивость процесса функционирования управляющей подсистемы АСУ СН под воздействием случайных и целенаправленных возмущений, что обуславливает выполнение условия (2). Однако, чтобы выполнялось условие (2), управление U должно принимать вполне определенные значения Ω_U^+ с требуемой вероятностью P_{UT} .

Вектор управления на выходе подсистемы А является функцией $U = f(t, \pi, Q, Z, L, N)$.

Данное определение управления U позволяет рассмотреть процесс как динамическую систему. В таком случае можно говорить об устойчивости автоматизированного управления.

Определение 5. Управление считается устойчивым на интервале w при случайных и целенаправленных возмущениях, если справедливо

$$\inf_{\Gamma \in \Omega_\Gamma} P_V [U(t, \pi, Q, V, \Gamma, S) \in \Omega_u^+, t \in w] \geq P_{UT}.$$

ОЦЕНИВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АСУ СН

В классической теории устойчивости Ляпунова [1] анализ устойчивости заканчивается, если получен ответ на вопрос, сохраняет или не сохраняет при определенных условиях система некоторое свойство процесса функционирования. Применительно к комплексам взаимосвязанных технических операций управления активными подвижными объектами (АПО) в работе [2] предлагается применять прямой метод Ляпунова для исследования устойчивости процесса реализации плана управления данными системами. Это позволяет без интегрирования системы дифференциальных уравнений, а используя лишь характеристики возмущений и проанализировав свойства построенной функции Ляпунова, установить факт наличия устойчивости или неустойчивости, а также решить целый комплекс задач, имеющих важное прикладное значение.

Система дифференциальных уравнений, описывающая процесс управления в условиях действия случайных возмущений, примет вид

$$\dot{\hat{X}}(t) = f(U(t), \hat{\Psi}(t), t), \quad (4)$$

где « \wedge » – символ случайной величины.

В процессе функционирования АСУ СН предполагается задействовать (расходовать) определенное ограниченное значение ресурса технических средств. Влияние возмущающих воздействий в реальных условиях приводит к уменьшению скорости расходования ресурса, что сказывается на величине управляющих воздействий, например, следующим образом:

$$U(t) = [1 - \Psi(t)]cU^+(t),$$

где c – коэффициент, задающий соответствующее значение избыточности средств;

$\Psi(t)$ – вектор-функция, состоящая из компонент $\psi_j(t) \in [0, 1]$ и определяющая характер и величину возмущений.

Величина $U^+(t)$ характеризует потенциальные возможности (объем) средств, выполняющих операции управления.

Пусть возмущающие воздействия задаются случайной функцией времени $\hat{\Psi}(t)$, которая представляет собой однородную марковскую цепь с конечным числом состояний.

Вероятность $p_{ik}(\Delta t)$ смены значений $\psi_i \rightarrow \psi_k$ за время Δt удовлетворяет условию $p_{ik}(\Delta t) = \alpha_{ik}\Delta t + o(\Delta t)$ ($i \neq k$), $\alpha_{ik} = \text{const}$, где символ $o(\Delta t)$ обозначает бесконечно малую величину более высокого порядка малости, чем Δt .

Будем полагать для удобства обозначений, что $\psi_i = i$ ($i = 1, \dots, r$). В этой связи для корректности дальнейших математических построений в выражении (4) необходимо использовать нормированные значения величины возмущений

$$\bar{\Psi}_i = \frac{\Psi_i}{\Psi_r}.$$

Принятый характер возмущающих воздействий соответствует возможности нахождения элементов АСУ СН, выполняющих операции управления, в одном из конечного числа состояний.

Введем в рассмотрение случайную функцию $\hat{V}(X(t), \hat{\Psi}(t), t)$.

Выражение $M \left[\hat{V}(X(t), t, \Psi(t)) / X(t_0) = x_0, \Psi(t_0) = \Psi_0 \right]$ представляет собой математическое ожидание случайной функции $\hat{V}(X(x_0, t_0, \psi_0; t), t, \Psi(x_0, t_0, \psi_0; t))$ при $t \geq t_0$, являющейся аналогом функции Ляпунова, где $\{X(t), \Psi(t)\}$ – решение системы дифференциальных уравнений (4) с начальными условиями $X = x_0, \Psi = \Psi_0$ при $t = t_0$. Предложенная в работе [3] методика и достаточные условия устойчивости по вероятности позволяют получить производную $dM[\hat{V}]/dt$ функции $\hat{V}(X, t, \Psi)$, которая в силу уравнений (4) в точке $X = x_0, \Psi = \Psi_0, t = t_0$ вычисляется по формуле

$$\frac{dM[\hat{V}]}{dt} = \frac{\partial \hat{V}}{\partial t} + \sum_{j=1}^n \frac{\partial \hat{V}}{\partial x_j} f_j(X, t, \hat{\Psi}(t)) + \sum_{k \neq i}^r \alpha_{ik} [\hat{V}(X, t, k) - \hat{V}(X, t, i)]. \quad (5)$$

Для рассматриваемой задачи в качестве аналога функции Ляпунова выберем квадратичную форму вида

$$\hat{V}(X(t), t, \hat{\Psi}(t)) = \sum_{j=1}^n [x_j(\hat{\Psi}(t), t) - x_j^+(\hat{\Psi}(t), t)]^2, \quad (6)$$

где $x_j^+(\hat{\Psi}(t), t)$ – допустимые значения операций управления (сорванных или не выполненных полностью) в реальных условиях функционирования АСУ СН, для которых имеется возможность быть выполненными к моменту времени t_f . Подставив ее в выражение (5), получим следующее выражение для производной в точке $x, \psi = i, t$:

$$\begin{aligned} \frac{dM[\hat{V}]}{dt} = & -4 \sum_{j=1}^n [x_j(\psi_j(t), t) - x_j^+(\psi_j(t), t)] \times \tilde{u}_j(t) + \\ & + \sum_{i \neq k}^r \alpha_{ik} \left\{ \sum_{j=1}^n [x_j(t, k) - x_j^+(t, k)]^2 - \sum_{j=1}^n [x_j(t, i) - x_j^+(t, i)]^2 \right\}. \end{aligned}$$

Для вычисления производной не требуется интегрирование уравнений (4), а достаточно лишь знания их правых частей и вероятностных характеристик случайного процесса $\hat{\Psi}(t)$. Соблюдая требования, предъявляемые к выбранной функции, по аналогии с работой [3], отметим, что для системы дифференциальных уравнений (4) найдена определенно положительная функция $V(X(t), \Psi(t), t)$, производная которой $dM[\hat{V}]/dt$ исходя из этих уравнений есть функция знакоотрицательная.

Можно утверждать, что исследуемый процесс устойчив по вероятности. При этом условие устойчивости запишется в виде

$$4 \sum_{j=1}^n [x_j(\psi_j(t), t) - x_j^+(\psi_j(t), t)] \times \tilde{u}_j(t) > \\ > \sum_{i \neq k}^r \alpha_{ik} \left\{ \sum_{j=1}^n [x_j(t, k) - x_j^+(t, k)]^2 - \sum_{j=1}^n [x_j(t, i) - x_j^+(t, i)]^2 \right\}. \quad (7)$$

Рассмотрим пример применения метода функций Ляпунова к исследованию устойчивости процесса управления АПО.

Пусть число типов операций управления активными подвижными объектами равно двум ($n = 2$, например, осуществляются проведение внешнетраекторных измерений и съем целевой информации). Число возможных состояний комплекса управления АПО примем равным пяти ($r = 5$: исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное и частично работоспособное состояния). Обобщенные характеристики процесса управления АПО для рассматриваемого случая приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры состояния процесса управления АПО

Номер состояния	$x_j(t, k)$	$x_j^+(t)$	$x_j(t, k) - x_j^+(t)$	$\psi_i(t)$
1	6	3	3	1
2	6	3	3	2
3	6	3	3	3
4	5	3	2	4
5	6	3	3	5

Требуется оценить устойчивость процесса управления активными подвижными объектами. Проведем необходимые вычисления согласно неравенству (7) и считая, что на момент исследования устойчивости система находится в состоянии $i = 4$ ($\hat{\Psi}_i = \frac{\psi_i}{\psi_r} = \frac{4}{5}$), получаем условие

$$1,6(u_1 + u_2) > 10(\alpha_{41} + \alpha_{42} + \alpha_{43} + \alpha_{45}),$$

которое определяет область устойчивости.

Зная конкретные значения вероятностей перехода $\alpha_{ik} = \text{const}$ (технических состояний комплекса управления АПО), выбором требуемых параметров управлений $u_j(t)$ можно добиться выполнения неравенства (7), что будет соответствовать условию устойчивости процесса управления АПО. Например, при значениях вероятностей перехода $\alpha_{41} = 0,2$, $\alpha_{42} = 0,3$, $\alpha_{43} = 0,1$, $\alpha_{45} = 0,2$ имеем $u_1 + u_2 > 5$. Это означает, что число условных единиц

управляющих воздействий для выполнения операции управления 1-го и 2-го типов должно быть не менее 5.

Следует отметить, что для практических целей качественного подхода при исследовании устойчивости часто недостаточно. Для принятия мер по обеспечению устойчивости необходимо уметь количественно оценить устойчивость. Измерить или как-то отразить ее лишь одной характеристикой сложно и не всегда удобно и достаточно. В этой связи целесообразно воспользоваться оценками, к числу которых относятся следующие: момент первого выхода, степень устойчивости, запас и область устойчивости. Отмеченные характеристики, связанные с устойчивостью, могут применяться для выбора уже конкретных показателей, как внешних для оценивания устойчивости управления, так и внутренних, оценивающих процесс функционирования АСУ СН.

Рассмотрим пример определения момента первого выхода при функционировании АСУ СН в условиях возмущающих воздействий. Момент первого выхода определяет период времени, в течение которого впервые после возникновения возмущения нарушается условие устойчивости. Конкретными показателями здесь могут быть вероятностно-временные характеристики, позволяющие определять значение времени, при котором произойдет нарушение условия устойчивости.

Предполагается, что в случайные последовательные моменты времени t_r возмущения приводят к изменению длительности выполнения операций по сравнению с ранее запланированной на величину δ_k . В результате в момент t_r для всех операций суммарное изменение $J(t_r)$ длительности выполнения цикла управления (ЦУ) составит

$$J(t_r) = \sum_{k \in A(t_r)} |\delta_k|, \quad r = 1, 2, \dots,$$

где $A(t_r) \in G$ – множество индексов операций, для которых в момент t_r произошло изменение оценок длительности. Тогда полная случайная ошибка длительности времени в момент t может быть представлена следующей суммой:

$$\psi(t) = \sum_{t_r < t} J(t_r).$$

Обозначим функцию распределения величины $\psi(t)$ через $F(t, y)$.

Искомый момент времени τ нарушения устойчивости управления может быть выбран из условия непревышения накопленной ошибки $\psi(t)$ заданной допустимой величины Δ с требуемой вероятностью p^* , т. е.

$$F(\tau, \Delta) = p^*. \quad (8)$$

По формуле полной вероятности имеем

$$F(\tau, y) = P(\psi(t) < y) = \sum_{k=0}^{\infty} P\{\psi(t) < y | v(t) = k\} \times P\{v(t) = k\},$$

где $v(t)$ – число возмущений, поступивших за время t .

Будем предполагать, что случайные величины $J(t_i)$, $i = 1, 2, \dots$ независимы и одинаково распределены по показательному закону с параметром μ , а процесс поступления возмущений является пуассоновским с параметром λ .

Поскольку ошибка $\psi(t)$ представлена как сумма большого числа сравнительно малых отклонений, то при достаточно больших λt на основании центральной предельной теоремы

теории вероятностей [4] будем считать, что ошибка распределена по нормальному закону с функцией распределения

$$F(t, y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y \exp\left(-\frac{[\chi - \mu\psi(t)]^2}{2\sigma^2}\right) d\chi.$$

Условие (8) для определения момента нарушения устойчивости запишется в виде

$$\frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{m-\varphi}{\sqrt{2\varphi}}} e^{-\frac{\chi^2}{2}} d\chi = 2p^* - 1,$$

где φ — поступившие за время τ возмущения, $\varphi = \lambda\tau$;

$m = \mu \cdot \Delta$ — запас устойчивости, $m = \mu\Delta$.

Разложив подынтегральную функцию в ряд Тейлора и проинтегрировав ее, получим следующее выражение для определения значений m :

$$\frac{m-\varphi}{\sqrt{2\varphi}} - \frac{(m-\varphi)^3}{12\varphi\sqrt{2\varphi}} + \frac{(m-\varphi)^5}{160\varphi^2\sqrt{2\varphi}} - \frac{(m-\varphi)^7}{2688\varphi^3\sqrt{2\varphi}} = \frac{(2p^*-1)\sqrt{2\pi}}{2}.$$

Характер зависимости m от величин λ и p^* представлен на рис. 1.

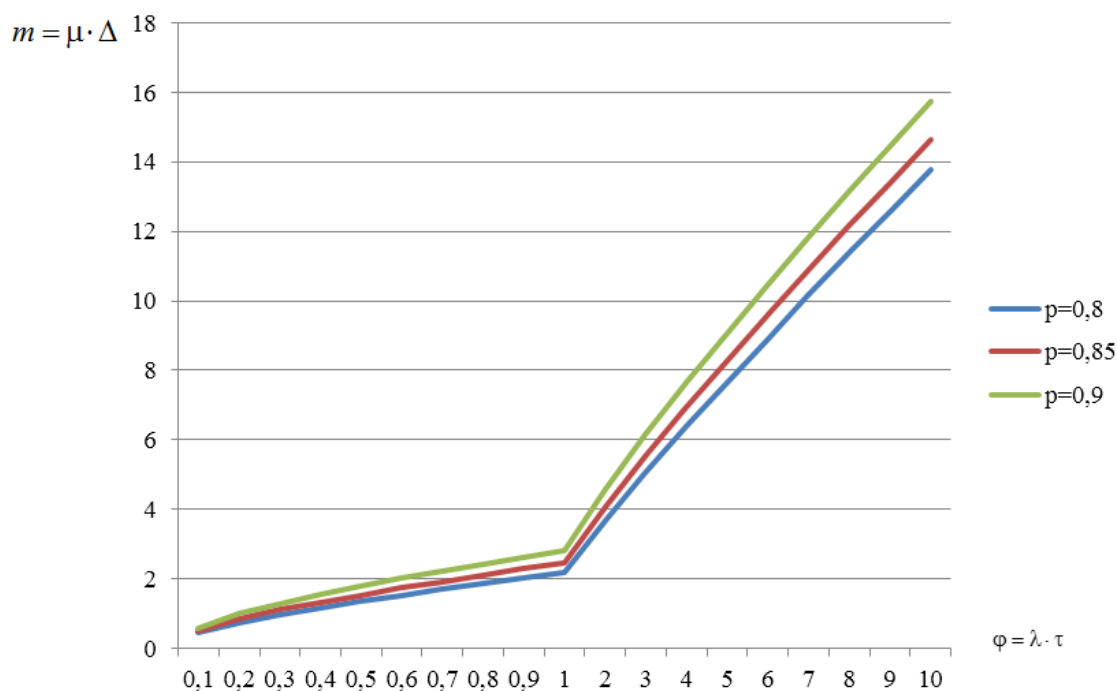


Рис. 1. Номограмма определения момента времени нарушения устойчивости АСУ СН

По данному графику при известных значениях интенсивности λ поступающих возмущений, параметра μ величины создаваемых ими частных отклонений времени выполнения операций ЦУ и допустимой ошибке Δ отклонения длительности ЦУ определяется необходимый момент τ времени нарушения условия устойчивости — момент первого выхода. При этом удобно пользоваться вместо τ и Δ нормированными величинами φ и m соответственно.

ЗАДАЧА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АСУ СН

Можно выделить технические, структурные, организационные, эргономические и программно-алгоритмические направления обеспечения устойчивости. Каждое из указанных направлений содержит вполне определенную присущую только ему группу способов обеспечения устойчивости. Реализация на практике этих способов требует соответствующего количества материальных, энергетических, информационных и людских ресурсов. Особую значимость для АСУ СН имеют программно-алгоритмические методы, которые не отрицают традиционных методов, а существенно их дополняют. Программно-алгоритмические методы практически могут быть использованы как на этапе создания системы, так и при ее штатной эксплуатации.

Наибольший эффект при обеспечении устойчивости может быть достигнут в результате комплексного применения различных мероприятий. Их практическая реализация требует определенных затрат сил и средств, которые в общем случае являются ограниченными. Решение этой задачи должно осуществляться с учетом не только ожидаемого эффекта, но и затраченных ресурсов и длительности их проведения.

При решении подобных задач в условиях неопределенности широко используются методы теории вероятностей и математической статистики. В последнее время возросла потребность в других подходах [5] к математическому описанию информации, которая характеризуется высоким уровнем неопределенности. Одним из возможных вариантов являются обобщение понятия меры и построение нечетких мер, свободных от ряда ограничений вероятностной меры.

Предположим, что имеется n возможных направлений обеспечения устойчивости. Каждое i -е направление, в свою очередь, предполагает наличие m_i способов, причем $\sum_{i=1}^n m_i = M$. Как правило, устойчивость характеризуется совокупностью различных частных показателей.

Для количественного описания качества использования конкретного способа обеспечения устойчивости введем функции $f_k(x)$, $k = \overline{1, K}$, представляющие собой соответствующие показатели устойчивости управления. Здесь $x = \|x_{ij}\|_{n \times M}$ – матрица назначений, т. е. $x_{ij} = 1$, если выбирается j -й способ в i -м направлении, и $x_{ij} = 0$ – в противном случае. Каждый способ требует для своей реализации α_{lij} количества ресурса l -го типа, где $l = \overline{1, L}$, причем B_l – суммарный запас ресурса l -го типа. Требуется выбрать такое сочетание способов обеспечения устойчивости, чтобы затраты ресурса на их реализацию удовлетворяли заданным ограничениям, а частные критериальные функции $f_k(x)$ векторной целевой функции принимали наилучшее значение. Структура выбора для данного класса задач запишется в виде

$$(\Delta_{сб}, \{f_k\}_{k=\overline{1, K}}, F),$$

где

$$\Delta_{сб} = \left\{ x \mid \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \alpha_{lij} x_{ij} \leq B_l, \quad l = \overline{1, L}, \quad x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, M} \right\},$$

а F – правило построения обобщенного показателя устойчивости.

Предполагается, что для построения результирующего отношения предпочтения заранее создана имитационная система, позволяющая оценить выбранные варианты обеспечения устойчивости по множеству показателей $\{f_k(x)\}$.

Пусть $\{x_q\}$, $q = \overline{1, Q}$ – выборка вариантов обеспечения устойчивости, $\{f_k(x_q), k = \overline{1, K}, q = \overline{1, Q}\}$ – множество значений показателей устойчивости, на котором задана функция $h: F \rightarrow [0, 1]$ оценки вариантов обеспечения устойчивости АСУ СН. Анализ экспертных данных относительно важности показателей устойчивости позволяет построить функцию $g: \{f_k\} \rightarrow [0, 1]$, в общем случае являющуюся плотностью нечеткой меры на множестве показателей устойчивости.

Правомерность рассмотрения нечеткой меры обусловлена отсутствием свойства аддитивности субъективных оценок экспертов. При этих предположениях результирующее отношение предпочтения можно записать в виде гибкой нечеткой свертки [6], имеющей вид

$$\Psi(x) = \max_{\alpha \in [0, 1]} \min \{ \alpha, g(H_\alpha(x)) \},$$

где

$$H_\alpha(x) = \{f_k \mid h(f_k) \geq \alpha, k = \overline{1, K}\}.$$

Таким образом, математическая постановка задачи имеет следующую формальную запись:

$$\max_{\alpha \in [0, 1]} \min \{ \alpha, g(H_\alpha(x)) \} \rightarrow \max_{x \in \Delta_{\text{св}}}.$$

Нечеткая мера g важности показателей устойчивости управления строится исходя из λ -правила Сугено:

$$g(H_\alpha(x)) = \frac{1}{\lambda} (\prod_{f_k \in H_\alpha(x)} (1 + \lambda g(\{f_k\})) - 1)$$

с учетом условия нормировки λ -меры g

$$\frac{1}{\lambda} (\prod_{k=1}^K (1 + \lambda g(\{f_k\})) - 1) = 1, \quad -1 < \lambda < +\infty.$$

Следует отметить, что рассматриваемая математическая модель относится к классу задач о многомерном ранце с нелинейной целевой функцией. Отличие предложенной задачи от стандартной задачи о ранце состоит в построении нечеткой λ -меры g и нечеткого интеграла (нечеткой свертки) при построении целевой функции.

В качестве примера в табл. 2 приведены результаты расчетов, которые позволяют определить значения показателей, характеризующих приоритетность способов обеспечения устойчивости АСУ СН для этапа штатной эксплуатации системы. Решаемая задача позволяет также получить целесообразные пропорции при распределении ресурса на обеспечение устойчивости.

Таблица 2

Характеристики показателей приоритетности способов обеспечения устойчивости АСУ СН

№ показателя устойчивости	Мера важности показателя	Оценка способов обеспечения устойчивости					
		Способы обеспечения устойчивости					
		Организационные	Технические	Структурные	Эргономические	Программные	Алгоритмические
1	0,15	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432	0,432
2	0,357	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
3	0,166	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4	0,298	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
5	0,2	0,45	0,25	0,25	0,15	0,55	0,65
Приоритетность способов обеспечения устойчивости		0,45	0,432	0,43	0,3	0,5322	0,5322

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены основные проблемные вопросы комплексного исследования устойчивости АСУ СН. Приведен анализ возмущающих воздействий, нарушающих свойство устойчивости. Предложены модели и методы определения, оценивания и обеспечения устойчивости АСУ СН. Необходимость данного подхода к исследованию устойчивости обусловлена сложностью этого понятия и его значимостью при решении практических задач в целях повышения эффективности управления.

Список используемых источников

1. *Ляпунов А.М.* Общая задача об устойчивости движения. – М.: Гостехиздат, 1950. – 472 с.
2. *Сугак В.П., Трепков Р.Е., Иванов И.В.* Применение качественных методов при исследовании устойчивости процесса реализации плана управления подвижными объектами // IV Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов АО «КБСМ» «Старт в будущее-2017»: сб. науч. тр. – СПб., 2017. – С. 170–173.
3. *Кац И.Я., Красовский Н.Н.* Об устойчивости систем со случайными параметрами // Прикладная математика и механика. – 1960. – Т. 24, № 5. – С. 809–823.
4. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 391 с.
5. *Орловский С.А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
6. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

Д.Д. Зыков,
кандидат военных наук;
В.Н. Кузьмин,
доктор военных наук, профессор;
А.В. Малюгин,
кандидат военных наук

АНАЛИЗ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ И СРЕДСТВ БОРЬБЫ С ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИМ ПРОТИВНИКОМ

Сложность такого общественно-политического явления, как война не позволяет командирам всех степеней использовать принципы принятия решений в качестве догматического свода правил, гарантированно обеспечивающего достижение победы в конкретных условиях обстановки. Они выполняют роль общих руководящих направлений, позволяющих оценить возможный ход развития событий. Относительная самостоятельность этих принципов на этапе их выявления и формулирования должна органически быть взаимосвязана с этапом практического их применения. Ни один из принципов не должен рассматриваться внесистемно, в отрыве от других. Эти принципы не являются всеобъемлющими, но они обеспечивают основу для рационализации процесса выработки соответствующих решений.

Ключевые слова: принципы, принятие решений, применение сил и средств, воздушно-космический противник.

ВВЕДЕНИЕ

Познание объективно существующих закономерностей принятия решений (ПР) на применение сил и средств борьбы с воздушно-космическим противником (СС БВКП) позволяет сформулировать соответствующие правила и рекомендации (принципы) для практической деятельности должностных лиц органов военного управления (ДЛ ОВУ) при принятии решений. Принципы не являются продуктом абстрактного творческого мышления, они базируются на прагматическом познании существенных связей и соотношений различных аспектов управления, научном обобщении результатов практической деятельности командиров и штабов в различных условиях обстановки. Так, проявляется методологический дуализм принципов, сочетающих в себе как объективные результаты научного познания закономерностей, так и субъективные взгляды руководства на практику реализации информационно-управленческих функций (ИУФ) [1].

По своему функциональному предназначению принципы являются связующим звеном между фундаментом теории, образуемым соответствующими закономерностями предметной области, и практикой реализации ИУФ. Основное требование к сущности и содержанию принципов состоит в обеспечении повышения эффективности практической деятельности. Свое предназначение принципы могут выполнить лишь в том случае, если они соответствуют объективным законам соответствующей предметной области. В этом заключается признак их научности. Правильно познанные и корректно сформулированные принципы становятся комплексом руководящих правил информационно-управленческой деятельности [2–5]. Вместе с тем даже самые авторитетные и многократно подтвержденные практикой принципы не являются заменой здравому смыслу. Существенным моментом в процессе формулирования принципов является обязательная логическая увязка комплекса частных принципов, отражающих действие того или иного закона (закономерности), исходя из требования строгого и неукоснительного их соответствия всей совокупности объективных законов (закономерностей).

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ПРИМЕНЕНИЕ СС БВКП

Применительно к рассматриваемой предметной области управления [1] под «принципами принятия решений на применение СС БВКП» предлагается понимать основные научно обоснованные и официально утвержденные положения, которыми руководствуются должностные лица органов управления при выработке и принятии управленческих решений в процессе осуществления информационно-управленческой деятельности.

С учетом определяющей обусловленности процесса принятия решений общей структурой процесса управления СС БВКП представляется целесообразным провести анализ сущности и содержания принципов управления группировками войск (сил), решающими задачи борьбы с воздушно-космическим противником (БВКП). В качестве основных принципов управления необходимо выделить следующие:

- приоритетного поражения важнейших целей (принцип адаптации качества целевого информационно-управляющего ресурса (ИУР) оперативно-тактической важности поражаемых (подавляемых) целей);
- максимального количества пораженных целей с учетом их важности;
- соответствия боевых задач боевым возможностям управляемых формирований (средств) БВКП и ИУР пунктов управления (ПУ);
- максимального использования ИУР средств БВКП;
- оптимального использования боевых возможностей формирований (средств) БВКП;
- максимального использования ИУР системы управления силами и средствами БВКП;
- оптимальной централизации управления;
- оптимального информационного обеспечения процесса выработки и принятия управленческих решений.

Проанализируем содержание этих принципов.

Принцип приоритетного поражения важнейших целей предусматривает первоочередное предоставления ДЛ ОВУ той информации, которая используется при уничтожении целей, имеющих наибольшую важность. Как правило, в теории управления таковыми считаются: цели, назначенные для уничтожения старшим начальником; цели, способные нанести наибольшие потери войскам (объектам), выполняющим в операции главную задачу; цели, оказывающие максимальное противодействие применению или управлению.

Рациональная реализация принципа возможна только при наличии информации о важности целей, а также достоверных данных о возможностях управляемых разведывательно-информационных и огневых средств. Следовательно, важнейшими ИУФ являются построение и постоянное уточнение приоритетного ряда целей по степени их важности, а также оперативная адаптация качественных параметров ИУР к условиям обстановки. По своей сущности принцип требует максимизации величины предотвращенного действиями формирований (средств) БВКП ущерба (U), поэтому может быть математически формализован в следующем виде:

$$U(\Phi, Z, Y(I)) \xrightarrow{Y(I)} \max,$$

где Φ – вектор условий БВКП;

Z – вектор, характеризующих задачу формирований (средств) БВКП;

I – вектор, характеризующий информацию об условиях БВКП, используемую в процессе управления;

Y – вектор управления формированиями (средствами) БВКП.

Принцип максимального количества пораженных целей с учетом их важности ($M_{свн}$) направлен на обеспечение возможности нанесения воздушно-космическому противнику максимального ущерба и, опосредованно, уменьшения возможного ущерба прикрываемым войскам и объектам в последующих ударах. Необходимость учета данного принципа в практике реализации ИУФ определяется низкими возможностями систем управления (СУ) по оценке важности целей. Теоретически доказано, что в тех случаях, когда точность оценки важности целей и прогнозирования результатов их действий по нескольким объектам низкая, а ожидаемый эффект примерно одинаков, ресурсы по объектам следует распределять равномерно. Исходя из этого функционирование СУ должно быть направлено на формирование возможно более полной информационной модели обстановки на соответствующих ПУ. Применительно к реализации ИУФ это означает, что не следует оставлять цели без обработки, сопровождения и выработки по ним решений вследствие необоснованного стремления сосредоточить усилия на уничтожении других целей. Математическая формулировка принципа может быть представлена следующим образом:

$$M_{свн}(\Phi, Z, Y(I)) \xrightarrow{Y(I)} \max.$$

Принцип соответствия боевых задач боевым возможностям управляемых формирований (средств) БВКП и ИУР ПУ требует постановки подчиненным формированиям реальных задач по поражению (подавлению) воздушно-космического противника. Задача, которая ставится средствам БВКП, должна соответствовать их возможностям, т. е. быть выполнимой, хотя и с полным напряжением сил и при условии выработки и принятия рациональных (оптимальных) решений. Кроме того, параметры этой задачи должны обеспечиваться требуемым качеством ИУР того ПУ, который ее формирует. Существенное значение имеет также взаимное соответствие между пространственно-временными параметрами СУ (качеством ИУР соответствующего ПУ) и системы комплексного воздействия на воздушно-космического противника. Математическая формулировка принципа может быть определена следующим образом:

$$\mathcal{E}_{гр.тр}(\Phi, Z) \leq \mathcal{E}_{гр}(\Phi, Z, Y(I)).$$

Принцип максимального использования ИУР системы управления силами и средствами БВКП рекомендует в процессе выработки и принятия решений по управлению режимами функционирования разведывательно-информационных элементов рассматривать наличие в перечне отобранных на этапе организации СУ вариантов действий, которые полностью или частично соответствуют условиям сложившейся обстановки. В случае наличия таких вариантов их необходимо использовать при выработке управленческих решений на различных этапах БВКП без изменений или с необходимой коррекцией. Актуальность реализации этого принципа заключается в том, что заранее подготовленные и детально отработанные варианты действий повышают эффективность БВКП и значительно упрощают работу ОУ при реализации ИУФ.

Очевидно, проявляемая сущность принципа, обусловленная объективно существующими закономерностями информационного обеспечения управления, тем не менее, требует уточнения его формулировки. Такое уточнение вызвано следующими соображениями. Применение понятия «максимальное использование» к СУ представляется не в полной мере корректным, вследствие того, что используется не система (как статичная совокупность определенных элементов), а заранее подготовленные варианты действий. С учетом данного соображения указанный принцип можно сформулировать как принцип заблаговременной организации действий элементов СУ группировки войск (сил). Математическую формулировку принципа целесообразно представить в виде следующей формульной зависимости:

$$\mathcal{E}_{гр}(\Phi, Z, Y', S_{cy}) \xrightarrow{S_{cy}} \max,$$

где U' – вектор управления, характеризующий самостоятельные нескоординированные действия средств БВКП;
 S_{cy} – вектор параметров СУ.

Принцип оптимального использования боевых возможностей формирований (средств) БВКП состоит в том, что в ходе БВКП группировка войск (сил) должна быть в состоянии полностью использовать свои боевые возможности, но расходовать их по мере необходимости. Формирования (средства) БВКП должны выполнять боевые задачи минимально необходимым количеством сил и средств при расходе ресурса, обеспечивающем требуемую эффективность, непрерывно поддерживая боеспособность и сохраняя резерв боевых возможностей для выполнения внезапно возникающих задач. В упомянутых исследованиях рассматриваемый принцип трактуется как принцип экономии сил и средств. Его математическая формулировка может быть определена как

$$\begin{aligned} N_{oe}(\Phi, Z, Y(I)) &\xrightarrow{Y(I)} \min; \\ N_{cp}(\Phi, Z, Y(I)) &\xrightarrow{Y(I)} \min; \\ N_{bnp}(\Phi, Z, Y(I)) &\xrightarrow{Y(I)} \min; \\ \mathcal{E}_{gp}(\Phi, Z, Y(I), N_{oe}, N_{cp}, N_{bnp}) &\geq \mathcal{E}_{gp.mr}. \end{aligned}$$

Сущность формального представления рассматриваемого принципа заключается в минимизации привлекаемых для ОУ БВКП средств разведки воздушно-космического пространства и комплексного воздействия (N_{cp} , N_{oe}) и минимизации расхода ракет (боеприпасов) (N_{bnp}) при условии обеспечения требуемого уровня эффективности БВКП.

Принцип оптимальной централизации управления говорит о том, что распределение функций в СУ должно обеспечивать рациональное сочетание централизованного управления с автономными действиями подчиненных, а выбранный уровень централизации управления должен максимально способствовать эффективным самостоятельным действиям управляемых формирований (средств) БВКП. Математическая формулировка принципа будет выглядеть следующим образом:

$$\mathcal{E}_{gp}(\Phi, Z, Y'', F_{uo}, F_{yo}) \longrightarrow \max,$$

где Y'' – вектор управления, не включающий в себя распределение ИУФ между ПУ;
 F_{uo} – вектор распределения функций информационного обеспечения (ИО);
 F_{yo} – вектор распределения функций управления.

Принцип оптимального информационного обеспечения процесса выработки и принятия управленческих решений состоит в том, что для эффективного решения задач управления на каждом ПУ должен формироваться ИУР с требуемыми качественными параметрами. В результате при организации управления должна быть создана такая структура информационной подсистемы, которая позволила бы обеспечить сбор и обработку необходимой информации с требуемыми показателями качества. В ходе управления процесс сбора и обработки информации должен регулироваться таким образом, чтобы обеспечить выполнение возложенных на соответствующий ПУ функций управления. Данный принцип имеет и другой аспект, связанный с *информационной поддержкой самостоятельных действий подчиненных*. Смысл его заключается в том, что каждый ПУ должен стремиться к максимальному обеспечению информацией своих подчиненных, причем эта информация должна обладать свойством адаптивности к постоянно меняющемуся объему и степени детализации задач, решаемых управляемыми средствами (огневыми и управления). Математическая формулировка принципа оптимального информационного обеспечения (ИО) может быть представлена следующим образом:

$$K_{убвп}(\Phi, Z, I) \xrightarrow{I} \max.$$

В силу того что на данный момент в известных исследованиях в явном виде не сформулированы принципы принятия решений на применение СС БВКП в действиях ВС РФ, необходимо провести анализ исходной логической основы данного вопроса. В теории принятия решений разработан ряд общих принципов [6], часть из которых применима к рассматриваемому процессу:

- 1) *системности* – ориентирует на всесторонний учет значимых факторов;
- 2) *учета вероятных последствий* – предполагает учет вероятных последствий реализации управленческого решения;
- 3) *стандартизации* (стандартных управленческих ситуаций и решений) – определяет, что большинство реальных управленческих ситуаций может быть сведено к набору так называемых стандартных или базовых; в случае, если управленческая ситуация не укладывается целиком в рамки стандартной, изучается возможность ее расчленения на стандартную и нестандартную части и для нестандартной части ситуации необходим специальный анализ с целью нахождения специального, особого для данного случая решения;
- 4) *оптимальной информированности* – определяет, что рациональные управленческие решения достижимы, лишь когда им соответствует достаточная информационная база, причем для каждого из управленческих уровней существует оптимальный размер информационной базы, определяемый рядом факторов;
- 5) *оптимального числа степеней свободы выбора* – предполагает наличие необходимого и достаточного числа параметров управляемой системы, которые можно учитывать в структуре управленческого решения;
- 6) *своевременности* – определяет, что управленческие решения должны приниматься, с одной стороны, по актуальным данным об обстановке, а с другой стороны, по балансу времени, удовлетворяющему условию возможности их реализации к установленному моменту времени.

Анализ разработанных принципов управления силами и средствами БВКП и общих принципов принятия решений показывает, что они в большей степени отражают основные требования к процессу управления СС БВКП и в меньшей – технологию реализацию ИУФ принятия решений на применение СС БВКП. В связи с этим в ходе исследований сформулирован ряд новых принципов принятия решений на применение СС БВКП и, соответственно, правил их реализации в деятельности ДЛ ОВУ.

Представляя собой основную руководящую и организующую идею практической деятельности, принципы реализуются ДЛ ОВУ через рекомендации по действиям в конкретных ситуациях – а именно через соответствующие *правила*. Следует отметить, что задача разработки правил принятия решений является очень актуальной, поскольку существующие правила охватывают лишь весьма незначительную часть ИУФ.

Анализ содержания и принципов принятия решений на применение СС БВКП позволяет сгруппировать правила по признаку их соответствия реализуемым функциям. Разработка правил должна осуществляться применительно к конкретным организационно-штатным структурам формирований, вариантам технического оснащения ПУ. Они должны быть научно обоснованы и представлены в инструкциях и руководствах по боевой работе на соответствующих ПУ.

Учитывая специфику процесса принятия решений на применение СС БВКП, можно предложить следующий вариант структуры таких принципов и правил.

1. *Принцип минимума объектов воздействия для обеспечения заданного предотвращенного информационного ущерба элементам оперативного построения (ЭОП)* – предполагает нахождение подмножества множества анализируемых объектов противника минимальной мощности, поражение или подавление которых позволяет снизить качество процесса

наблюдения заданных ЭОП до требуемого уровня, обеспечивающее заданный уровень снижения боевого потенциала группировки войск (сил) (ГВС) противника по поражению ЭОП.

При этом оценивание качества процесса наблюдения заданных ЭОП может проводиться:

- на основе статистического оценивания характеристик периодичности наблюдения ЭОП на временном интервале порядка десятков суток – при незаданном (неопределенном) интервале прикрытия ЭОП;
- на основе аналитического оценивания характеристик производительности наблюдения ЭОП – при заданном (детерминированном) интервале прикрытия ЭОП.

Для реализации данного принципа применяются следующие правила.

Правило (критерий) заблаговременного выбора множества критически важных объектов поражения (КВОП) минимальной мощности применяется при неопределенном интервале прикрытия ЭОП:

$$A^* = \arg \min_{A \subseteq P(A^0)} \text{card}(A),$$

$$V(C, A^0 \setminus A, \Delta T) > \Delta T^*,$$

где V – показатель, характеризующий эффективную периодичность наблюдения ЭОП на интервале ΔT ;

ΔT^* – требуемое значение показателя.

Правило (критерий) адаптивного выбора множества КВОП минимальной мощности применяется при детерминированном интервале прикрытия ЭОП:

$$A^* = \arg \min_{A \subseteq P(A^0)} \text{card}(A),$$

$$W(C, A^0 \setminus A, \Delta t) > W^*,$$

где W – показатель, характеризующий относительную периодичность наблюдения ЭОП на интервале $\Delta t \in \Delta T$;

W^* – требуемое значение показателя.

2. *Принцип адаптивного выбора вариантов воздействия по объектам противника* – предполагает, что выбор способа воздействия, связанного с многократным функциональным подавлением, может быть применен только при заданном (детерминированном) интервале прикрытия ЭОП.

Данный принцип определяет, что для реализации функционального подавления конкретного объекта необходимо детерминированное определение временных интервалов наблюдения ЭОП, на которых бортовая специальная аппаратура не должна функционировать. Такое условие возможно выполнить только *при аналитическом оценивании характеристик производительности* наблюдения ЭОП при заданном интервале его прикрытия.

3. *Принцип адаптивного баланса показателей плана применения СС БВКП* – предполагает, что при выборе оптимального варианта применения СС БВКП должны учитываться показатели, характеризующие как временные, так и технологические свойства альтернатив, а конкретная аналитическая форма критерия выбора и (или) метод многокритериального выбора определяются исходя из анализа множества допустимых вариантов применения средств поражения (подавления) по заданным объектам и требования вышестоящих ОУ к процессу применения СС БВКП.

Для реализации данного принципа применяются следующие правила.

Множество критериев принятия решений (ПР) на применение СС БВКП представлено выражением

$$K = \langle K_1, K_2, K_3, K_4 \rangle, K_q = \arg \text{opt } f_q(\omega_l),$$

где $\omega_l \in \Omega^0$ – l -й план применения СС БВКП, принадлежащий множеству допустимых (опорных) планов Ω^0 .

В кортеж частных критериев входят:

1) критерий максимальной оперативности

$$K_1 = \min f^O(\omega_l), \omega_l \in \Omega^0, \\ f^O(\omega_l) = t_l^I - t_l^H;$$

2) критерий минимальной длительности

$$K_2 = \min f^D(\omega_l), \omega_l \in \Omega^0, \\ f^D(\omega_l) = t_l^I - t_l^L;$$

3) критерий максимальной ритмичности (равномерности воздействия по объектам поражения)

$$K_3 = \min f^R(\omega_l), \omega_l \in \Omega^0, \\ f^R(\omega_l) = \sigma[t_l^i - t_l^{i-1}];$$

4) критерий максимальной сбалансированности (равномерности распределения боевых задач между формированиями БВКП)

$$K_4 = \min f^S(\omega_l), \omega_l \in \Omega^0, \\ F^S(\omega_l) = \sigma[\text{card } \Psi^n], n = 1, N.$$

Для настройки адаптивной системы критериев на конкретную ситуацию выбора ЛПР требуется последовательно определить:

1) ряд приоритетов на множестве критериев

$$R = \langle \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4 \rangle, \mu_4 \in K;$$

2) вектор приоритетов на множестве критериев

$$\Lambda = \langle \lambda(\mu_1, \mu_2), \lambda(\mu_2, \mu_3), \lambda(\mu_3, \mu_4) \rangle;$$

3) способ многокритериальной оптимизации, при этом среди известных способов [7, 8] определены те, которые в наибольшей степени соответствуют рассматриваемой задаче:

– выделения одного оптимизируемого критерия

$$\omega^* = \arg \text{opt } f_i(\omega_l), \\ \forall j \neq i: f_j(\omega_l) \in \Delta F_i^*;$$

– абсолютной уступки

$$\omega^* \in \{\omega_l \mid \sum_{i \in I^+} \Delta f_i(\omega_l) \geq \sum_{j \in J^-} \Delta f_j(\omega_l)\};$$

– последовательной уступки

$$\omega^* \in \{\omega_l \mid \arg \text{opt } f_i(\omega_l), \\ \forall j > i: \Delta f_j(\omega_l) < \Delta f_i^*\}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные принципы и правила в полной мере соответствуют закономерностям принятия решений на применение СС БВКП и логически из них вытекают.

Таким образом, исследование закономерностей принятия решений на применение СС БВКП позволило:

- осуществить анализ соответствующих принципов управления силами средствами БВКП с позиций теории принятия решений;
- предложить новые принципы и правила принятия решений на применение СС БВКП.

Сформированная структура принципов создает основу для определения системы правил практического решения задач управления, которые могут быть реализованы в образцах функциональных элементов АСУ или использованы боевыми расчетами на различных этапах применения СС БВКП. Результаты исследования фундаментальных категорий теории принятия решений позволяют подойти к решению задачи уточнения оперативно-тактических требований к решениям на применение СС БВКП.

Список используемых источников

1. Основы теории управления войсками / под ред. П.К. Алтухова. – М.: Воениздат, 1984. – 221 с.
2. *Анисимов О.С.* Принятие управленческих решений: методология и технология. – М.: РосАКО АПК, 2002. – 245 с.
3. *Бардышев О.А.* Системный анализ и принятие решений. – СПб.: ГУПС, 2004. – 90 с.
4. *Беспалов В.А.* Методологические проблемы системы управленческих решений. – М.: Экономика, 1986. – 195 с.
5. *Ларичев О.И.* Теория и методы принятия решений: учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
6. *Колпаков В.М.* Теория и практика принятия управленческих решений: учебник. – К.: МАУП, 2004. – 504 с.
7. *Москвин Б.В.* Математические методы выработки управленческих решений. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005. – 154 с.
8. *Москвин Б.В.* Принятие решений в сложных военно-технических системах. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. – 148 с.

В.А. Максимов,
кандидат техн. наук;
А.О. Шушаков,
кандидат техн. наук

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАНИЯ СПОСОБОВ РАЗМЕЩЕНИЯ И КОДИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ПО ВАЖНОСТИ ДАННЫХ

Предложен подход к построению и применению систем хранения данных космических аппаратов на основе гетерогенных запоминающих устройств. С целью повышения отказоустойчивости функционирования систем хранения и обработки информации предложен алгоритм построения гетерогенной системы хранения данных и управления ее функционированием на основе комбинирования способов размещения и кодирования неоднородных по важности данных. Применение гетерогенных накопителей позволяет использовать более гибкое управление способами хранения, что обеспечивает снижение степени информационной избыточности всех видов в системе, а также гибкое регулирование эксплуатационных параметров системы. Новизна работы заключается в учете неоднородности важности хранимых данных.

Ключевые слова: системы хранения данных, гетерогенность, распределенность, отказоустойчивость, дистанционное зондирование Земли, восстанавливающие коды.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития космической техники характеризуется устойчивыми тенденциями к увеличению объемов данных, накапливаемых в процессе функционирования космических аппаратов (КА), и к переносу процессов обработки этих данных с наземных комплексов обработки на борт. Данная информация может иметь различный характер (телеметрическая, специальная, навигационная и т.д.), а также различную важность для потребителя (наземного комплекса управления, бортовых систем и пр.).

Наибольшие объемы данных генерируются в результате работы целевой аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). При этом ее характеристики совершенствуются с каждым поколением, и, как следствие, значительно растет объем данных, накапливаемый на борту. Однако проблема безошибочного хранения информации на борту КА не ограничивается КА ДЗЗ. Так, ошибки, возникающие в процессе хранения командно-программной или навигационной информации, могут привести к возникновению нештатных ситуаций и выходу из строя КА в целом [1].

Продолжительная эксплуатация КА ДЗЗ позволила выявить ряд особенностей функционирования бортовой аппаратуры:

1. В силу высокой производительности всех видов аппаратуры КА, регистрируемые ею данные имеют большие объемы, что требует особых подходов к их обработке и хранению. В то же время возможности отечественных предприятий по производству запоминающих устройств, пригодных к использованию в условиях космоса, весьма ограничены. Результатом этого является неизбежное применение иностранной электронной компонентной базы (ЭКБ) и значительно меньшая емкость системы хранения данных (СХД) отечественных КА по сравнению с зарубежными и неизбежное применение в них импортных микросхем памяти.

2. Одной из устойчивых тенденций на протяжении последних лет в области повышения оперативности получения информации является перенос решения ряда задач с наземного пункта приема и обработки информации (НППОИ) на борт КА. Решение вопросов частичной или полной обработки данных на борту требует существенного увеличения объемов СХД, что также вступает в противоречие с ограниченным объемом существующих СХД. Кроме того, возникновение ошибок в процессе обработки данных может привести к существенным искажениям результатов обработки [2].

3. Требования, предъявляемые к существующим и перспективным КА в вопросах продления сроков активного существования и надежности функционирования, постоянно растут. Однако способы построения бортовой аппаратуры, в том числе СХД, устойчивых к продолжительному воздействию факторов космического пространства, недостаточно разработаны [3].

4. Одним из неотъемлемых требований к информации является ее достоверность, которая неизбежно страдает от искажения и потери данных как передаваемых по высокоскоростным радиопередающим линиям (ВРЛ), так и в процессе хранения в СХД. Повышение безошибочности хранимых в СХД данных, как составной части достоверности информации в целом, требует введения различных видов избыточности (информационной, аппаратной, временной), что не всегда приемлемо с точки зрения массогабаритных ограничений для КА в целом.

Как один из перспективных вариантов построения СХД КА предложен вариант построения СХД на базе запоминающих устройств (ЗУ), основанных на различных физических принципах [4]. Данные микросхемы (MRAM, FRAM, SONOM и др.) обладают некоторыми отличиями в технических характеристиках от широко применяемой в настоящий момент NAND-FLASH, что делает их привлекательными для применения на борту КА. Стоит отметить, что выбор одного определенного типа ЗУ затруднен ввиду существенного различия их характеристик (например, обладая большей радиационной стойкостью, они обладают меньшими объемами хранимых данных и пр.)

При этом необходимо отметить, что данные, хранимые в СХД КА, имеют также различные атрибуты.

Помимо хранимых в СХД служебных данных, необходимых для корректной работы системы в целом (данных, необходимых для инициализации устройства, файловых таблиц и пр.), сама структура данных ДЗЗ является неоднородной.

В большинстве отечественных КА ДЗЗ данные, прошедшие первичную обработку до момента выдачи в ВРЛ, хранятся закодированными в формате JPG. В соответствии с международными стандартами (ISO/IEC 10918) в файловом контейнере JFIF можно выделить несколько областей данных. Так, повреждение или утеря данных из блоков с маркерами SOS, APPn, COM, а для системы ДЗЗ и блоков SOF (так как алгоритм кодирования не изменяется в процессе функционирования КА ДЗЗ) не являются критичными и либо не приводят к ухудшению качества результирующей информации, либо приводят к незначительному ее ухудшению (изменение нескольких пикселей или блоков пикселей результирующего изображения). Однако даже незначительные искажения, внесенные в блоки DQT, DHI, DRI, могут привести к значительному ухудшению либо полной невозможности восприятия результатов ДЗЗ.

Кроме того, в настоящее время имеется существенный теоретический и практический задел в области распределенного хранения данных с применением восстанавливающих кодов [5–7], которые позволяют значительно повысить надежность хранения данных по сравнению с методом репликации.

Все вышеизложенное подтверждает необходимость развития методов построения и применения гетерогенных систем хранения данных.

С целью разрешения возникающего противоречия между необходимостью надежного хранения больших объемов данных на борту КА и отсутствием на текущий момент разработанных методов и средств такого хранения предлагается алгоритм построения гетерогенной

системы хранения данных и управления ее функционированием на основе комбинирования способов размещения и кодирования неоднородных по важности данных.

КОНЦЕПЦИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Концепция распределенного хранения в гетерогенной системе хранения данных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли заключается в построении СХД КА ДЗЗ из модулей накопителя (МН), состоящих из модулей памяти (МП), основанных на различных физических принципах. Термин система хранения данных подразумевает совокупность аппаратной составляющей (состав и структура СХД, состоящей из различных элементов), а также способа хранения, под которым подразумевается набор манипуляций над поступающими в систему данными, и размещение их по структуре системы для обеспечения их надежного хранения. Предполагается применение вместо репликации (двух- или трехкратного резервирования данных) способа хранения данных по аналогии распределенного хранения «больших данных» в сетях хранения. Он заключается в том, что исходные данные для хранения (файл, сформированный БОЭСК по результатам его работы) разбиваются на несколько областей данных в соответствии с важностью данных областей для финальной реконструкции СИ (по аналогии с концепцией Information Lifetime Management [8]). Каждой из областей присваивается показатель важности. Каждая из областей разбивается на некоторое количество блоков данных (БД) и кодируется соответствующим восстанавливающим кодом. После этого происходит распределение блоков данных по МП СХД. Следует отметить, что каждая область данных может кодироваться восстанавливающими кодами различной конструкции [из доступного управляющему устройству (УУ) СХД набора]. Размещение блоков данных по СХД зависит от показателя важности данных и состояния МП СХД. Перед записью блока данных он кодируется помехоустойчивым кодом (из доступного УУ СХД набора) для компенсации ошибок, возникающих при записи/чтении данных и вызванных тяжелыми заряженными частицами (ТЗЧ) в соответствии с типом накопителя, в который планируется разместить БД. Как отмечалось выше, на данный момент существует значительный технический задел в этой области, однако до настоящего времени основными способами повышения надежности СХД в целом оставались резервирование отдельных элементов и функциональных блоков в целом, а также применение отдельных видов помехоустойчивых кодов. Системным методам повышения устойчивости функционирования СХД не было уделено достаточного внимания.

Применение различных типов памяти для хранения различных по важности данных позволяет обеспечить большую безошибочность хранения при меньшем уровне аппаратной и информационной избыточности. Также развитие средств межспутниковой коммуникации и проработка концепции «облака микроспутников» [9, 10] позволяют рассматривать возможность организации сети хранения информации внутри орбитальной группировки (ОГ) КА. При этом целесообразно рассматривать гетерогенную структуру построения СХД. Применение различных по физическим принципам построения микросхем МН позволит эффективнее использовать СХД для надежного хранения специальной информации. Кроме того, в качестве дальнейшего развития концепции возможно введение в иерархию важности не только важности области данных для последующей обработки СИ, но и важности самой СИ в соответствии с различными районами и объектами ведения наблюдения (важность для потребителя информации).

Применение распределенной гетерогенной СХД КА ДЗЗ порождает ряд недостатков, свойственных любой сложной распределенной системе:

- повышение сложности системы в целом;
- необходимость разработки специализированной системы управления.

Главной целью организации распределенного хранения данных в гетерогенной системе хранения данных КА ДЗЗ является надежное, безошибочное хранение специальной информации, полученной от БОЭСК до момента ее выдачи в ВРЛ или утери актуальности данной информации и ее стирания.

Под надежностью хранения в рамках статьи понимается вероятность того, что поступившие в СХД данные после хранения не будут утеряны и в них не будут присутствовать неустраняемые либо необнаруживаемые ошибки.

Основными преимуществами концепции распределенного хранения данных являются:

- обеспечение высокой технической готовности системы хранения данных к выполнению своих функций;
- обеспечение максимальной надежности хранения данных (СИ) с учетом текущего состояния СХД;
- обеспечение доступности СИ в случае выхода из строя ЯП или контроллера твердотельных накопителей информации (КТНИ);
- гибкое управление параметрами системы и параметрами хранения данных;
- обеспечение заданного уровня оперативности доступа к целевой информации за счет управления параметрами СХД;
- технический и технологический задел на будущее с целью организации системы хранения данных внутри орбитальной группировки КА ДЗЗ.

При рассмотрении КА ДЗЗ в качестве информационной системы, его основная функция определяется как выдача достоверной информации об объектах наблюдения конечному потребителю специальной информации. Рассматривая с такой позиции систему хранения данных КА ДЗЗ, как целенаправленно функционирующую информационную систему, можно прийти к выводу, что основной ее целью является хранение целевой информации, полученной от БОЭСК до момента выдачи ее в ВРЛ для передачи потребителю.

Таким образом, надежное безошибочное хранение данных в гетерогенной СХД КА ДЗЗ осуществляется за счет:

- разделения данных по областям важности;
- применения различных конструкций восстанавливающих кодов для различных по важности данных;
- размещения данных в соответствии с состоянием СХД и требованиями по безошибочности к данным различной важности;
- применения помехоустойчивых кодов различной длины для компенсации битовых ошибок в ЯП.

Применение такого комплексного многоуровневого подхода позволяет обеспечить большую надежность хранения данных при сохранении текущих эксплуатационных параметрах СХД КА ДЗЗ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Технический анализ современного состояния систем и технологий хранения данных в КА ДЗЗ показал, что процесс хранения данных ДЗЗ характеризуется рядом факторов, которые ограничивают надежность хранения данных в текущей концепции построения СХД. Во-первых, построение СХД из однородных МП является труднореализуемым (для всех типов памяти, кроме NAND-FLASH) с точки зрения массогабаритных характеристик. Кроме того, построение СХД из однородных накопителей затрудняет дифференцирование способов хранения данных для данных, которые объективно имеют различную важность и, соответственно, к надежности хранения которых предъявляются различные требования. Во-вторых, хранение с репликацией приводит к значительному росту информационной избыточности и, соответственно, снижению эффективной емкости СХД. В-третьих, оценивание надежности

хранения проводится для результатов ДЗЗ в среднем, не учитывая различную важность данных. Оценивание же качества СХД проводится по формальным эксплуатационным характеристикам (надежности функционирования СХД в целом). В-четвертых, при переносе ряда вычислений на борт КА, что является на данный момент устойчивой тенденцией, возникает необходимость в больших объемах производительной памяти с отсутствием ограничений (либо большим ресурсом) на количество циклов запись/стирание, а также повышении надежности хранения результатов таких вычислений. Существующий подход с построением СХД на базе относительно медленных и ненадежных МП NAND-FLASH типа не предоставляет таких возможностей вне зависимости от уровня масштабирования и совершенствования технологических процессов в силу конструктивной ограниченности. В-пятых, применение отличных от NAND-FLASH МП позволит за счет экономии энергоресурса потратить его на преобразование данных (кодирование и декодирование, расчет размещения данных по СХД) для более надежного хранения данных и снижения уровня информационной избыточности.

Задача построения системы хранения данных заключается в выборе из множества доступной электронной компонентной базы МП, контроллеров КТНИ состава и структуры СХД, которые отвечали бы критерию пригодности для СХД. Кроме того, из множества конструкций кодов восстанавливающего кодирования, вариантов размещений блоков данных по структуре СХД, множества вариантов помехоустойчивого кодирования необходимо для каждого показателя важности данных сформировать способ хранения. Формирование способов хранения данных для различных показателей важности должно осуществляться исходя из максимального объема хранимых данных и соотношения областей данных с различными показателями важности в них. Кроме того, параметры функционирования СХД при применении таких способов хранения должны удовлетворять критерию пригодности.

Указанные способы хранения данных формируются для предельных условий функционирования.

Следует учесть и необходимость предусмотреть алгоритм оперативного расчета способов хранения данных для целесообразного использования ресурса в виде информационной емкости при неполной загрузке СХД. Расчет таких способов хранения можно производить при каждом поступлении новых данных в систему, что позволит обеспечить максимальную надежность хранения данных.

В силу вышеизложенных результатов технического анализа современного состояния систем и технологий хранения данных в СХД КА ДЗЗ вербальная постановка задачи построения СХД КА ДЗЗ звучит следующим образом:

1. Задача выбора структуры системы хранения данных при максимальной загруженности СХД. В соответствии с известными ограничениями на систему хранения данных и требованиями к качеству функционирования, исходя из доступной номенклатуры микросхем памяти, а также по известной информационной структуре хранимых данных найти структуру системы хранения данных и способы хранения данных, обеспечивающие выполнение критерия пригодности СХД к применению по назначению.

2. Задача управления системой хранения данных при решении целевых задач.

При известной структуре и состоянии СХД найти способы хранения данных, обеспечивающие максимальное значение показателя отказоустойчивости СХД.

В теоретико-множественной форме задачи построения и применения гетерогенной системы хранения данных можно описать следующим образом.

1. Задача выбора структуры системы хранения данных при максимальной загруженности СХД.

Дано:

1) Эксплуатационные требования к СХД (заданные техническим заданием):

$$E_{\Sigma} < D_{\max}, M_{\max}, E_{\max}, V_{\min} > ,$$

где D_{\max} – ограничения на габариты СХД;

M_{\max} – ограничения на массу СХД;

V_{\max} – ограничения на энергопотребление СХД;
 V_{\min} – требования по эффективной емкости СХД.

2) Требования к показателям качества функционирования СХД:

$$\Xi_{\Phi} < Pe_k^D, Pa_k^D, T_r^D, T_w^D >,$$

где Pe_k^D – требуемая вероятность отсутствия неустраняемых ошибок в данных k -й степени важности, $k = 1, \dots, K$;
 Pa_k^D – требуемая вероятность доступности данных k -й степени важности, $k = 1, \dots, K$;
 T_r^D – требуемая оперативность функционирования СХД в режиме чтения данных;
 T_w^D – требуемая оперативность функционирования СХД в режиме записи данных.

3) Информационная структура хранимых данных:

$$SD = < f_1, \dots, f_K >,$$

где f_i – удельная доля данных i -й информационной важности;
 K – количество принятых степеней важности данных.

4) Доступная номенклатура микросхем памяти и контроллеров:

– доступные варианты $\Theta^P = \{\Theta_j^P\}, j = 1, \dots, M$ типов памяти, каждый из которых характеризуется кортежем параметров $< d_j^P, m_j^P, e_j^P, v_j^P, p_j^P >$, включающим соответственно размер, массу, потребляемую мощность, информационную емкость, вероятность безотказной работы модуля памяти;

– доступные варианты $\Theta^K = \{\Theta_j^K\}, j = 1, \dots, H$ типов контроллеров памяти (КТНИ), каждый из которых характеризуется кортежем параметров $< d_j^K, m_j^K, e_j^K, p_j^K >$, включающим соответственно размер, массу, потребляемую мощность, вероятность безотказной работы КТНИ.

5) Множество конструкций восстанавливающих кодов $A = \{a_i\}, i = 1, 2, \dots$, определяющих возможность по восстановлению не менее i БД за счет введения дополнительных $\gamma(a_i)$ блоков.

6) Множество конструкций помехоустойчивого кодирования: $C = \{c_i\}, i = 1, 2, \dots$, определяющих возможность по исправлению не менее i ошибочных бит в БД за счет введения в него дополнительных $\pi(c_i)$ бит.

Найти:

1) Структуру

$$So^* \in So \text{ БСХД } So = |n_{ij}|_{N \times M},$$

где n_{ij} – число БИС памяти j -го типа в i -м МН, $i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M$;
 N – количество накопителей;
 M – количество типов микросхем памяти.

2) Способы $Sp^* \in Sp$ хранения данных, $Sp = < Sp_1, \dots, Sp_K >$, определяющие для каждой из K групп B_1, \dots, B_K БД: количество блоков в группе η_i , тип c (B_i) помехоустойчивого кодирования блока и тип a (B_i) восстанавливающего кодирования блоков группы, размещение $\Omega(B_i)$ блоков группы по микросхемам памяти МН СХД.

При ограничениях, которые состоят в следующем: СХД должна удовлетворять эксплуатационным показателям, задаваемым в ТТЗ на систему (критерию пригодности):

$$\begin{cases} Pe_k(So^*, Sp^*) \geq Pe_k^D \cap Pa_k(So^*, Sp^*) \geq Pa_k^D \cap T_r(So^*, Sp^*) \leq T_r^D \cap T_w(So^*, Sp^*) \leq T_w^D; \\ Vef(Sp^*) \geq V_{\min} \cap D(So^*) \leq D_{\max} \cap M(So^*) \leq M_{\max} \cap (So^*) \leq \max. \end{cases}$$

2. Задача управления системой хранения данных при решении целевых задач.

Дано:

1) Структура СХД:

$$So = o = |n_{ij}|_{N \times M}.$$

2) Состояние СХД в момент времени t :

$$SS(t) = < v_1^n(t), v_2^n(t), \dots, v_N^n(t) >,$$

где $v_i^n(t)$ – доступная информационная емкость i -го МН.

3) Данные для хранения:

$$Dn = \langle Vd, f_1, \dots, f_K \rangle,$$

где Vd – информационная емкость данных, поступивших для хранения;

f_i – удельная доля информационной емкости данных i -й важности.

Найти:

Способы хранения данных k -й степени важности, $k = 1, \dots, K$:

$$Sp_k(t)^*: \begin{cases} Sp_k(t)^* = \arg \max Ps_k(So, Ss(t), Sp_k(t)); \\ Pe_k(So, Sp_k(t)^*) \geq Pe_k^D \cap Pa_k(So, Sp_k(t)^*) \geq Pa_k^D; \\ Tr(So, Sp_k(t)^*) \leq Tr^D \cap Tw(So, Sp_k(t)^*) \leq Tw^D; \\ Red(Sp_k(t)^*) \leq Red(Sp_0^k). \end{cases}$$

где Ps_k – показатель отказоустойчивости СХД;

$Red(Sp_k(t)^*)$ – информационная избыточность, вносимая выбранным способом хранения данных.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАНИЯ СПОСОБОВ РАЗМЕЩЕНИЯ И КОДИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ПО ВАЖНОСТИ ДАННЫХ

Выбор структуры СХД происходит в условиях априорной неопределенности условий функционирования СХД КА ДЗЗ. С одной стороны, воздействие неблагоприятных факторов космического пространства на наиболее часто применяемых для КА ДЗЗ орбитах хорошо изучено и его можно принять за нормальные условия функционирования. С другой стороны, в ходе функционирования возможно воздействие различных непредвиденных факторов, например воздействие от физического столкновения с другими объектами (космическим мусором) и пр.

При рассмотрении алгоритма построения СХД и управления ее функционированием необходимо отметить ряд особенностей системы хранения данных. Так, ввиду ограниченности ЭКБ, пригодной для применения в условиях космического пространства (количество таких КТНИ измеряется единицами), выбор множества КТНИ для применения в составе системы является достаточно тривиальной задачей.

Также необходимо отметить, что в связи с особенностями компоновки элементов и систем на борту КА ДЗЗ структурная организация системы хранения данных является устоявшейся и представляет собой иерархическую древовидную структуру. При этом УУ СХД является вершиной дерева и соединена с КТНИ модулей накопителя посредством волоконно-оптической системы связи. В свою очередь, КТНИ МН соединены с обслуживаемыми модулями памяти. Однако в случае применения гетерогенной системы хранения данных для организации информационных процессов в группировке микроспутников необходимо учитывать динамически изменяющуюся структуру связей между кластерами МН. В зависимости от структуры СХД такими кластерами могут выступать как отдельные МН, входящие в состав микроспутников, так и группировки микроспутников, находящихся в непосредственной близости. В таком случае значительную роль начинают играть структура таких связей и скорость межспутникового канала обмена данными.

В рамках проводимых исследований структура связей между МН представляется неизменной. В таком случае задачу синтеза структуры СХД и способов хранения можно декомпозировать на задачу поиска множества допустимых способов хранения данных (управляющих воздействий на функционирование системы) и задачу поиска множества допустимых вариантов состава СХД. В свою очередь, эти задачи также целесообразно декомпозировать соответственно количеству типов данных, предполагаемых к хранению в системе.

Задача выбора структуры и выбора способов хранения в зависимости от этапа применения может быть решена как точным (этап проектирования), так и приближенным (этап применения СХД по предназначению) методами.

В процессе синтеза структуры СХД решается оптимизационная задача, относящаяся к классу «задач о рюкзаке с мультивыбором».

Содержание алгоритма построения системы хранения данных и управления ее функционированием на основе комбинирования способов размещения и кодирования неоднородных по важности данных приведено ниже.

Шаг 1. Начало алгоритма.

Шаг 2. Выбирается этап алгоритма. Если алгоритм применяется на этапе построения БСХД и выбора способов хранения для максимальной загруженности, то осуществляется переход к шагу 3. Если алгоритм применяется для выбора способов хранения при решении целевых задач – то переход к шагу 18.

Шаг 3. Вводятся исходные данные:

- эксплуатационных требований к БСХД – Ξ_3 ;
- требований к качеству функционирования БСХД – Ξ_Φ ;
- структуры данных $SD = \langle f_1, \dots, f_k \rangle$;
- вариантов СБИС МП $\Theta^П = \{\theta_j^П\}$;
- вариантов СБИС КТНИ $\Theta^K = \{\theta_j^K\}$;
- вариантов восстанавливающих кодов $A = \{a_i\}$;
- вариантов помехоустойчивого кодирования $C = \{c_i\}$.

Шаг 4. На этапе проектирования БСХД проводятся расчеты основных характеристик СБИС МП в сочетании с СБИС КТНИ $\Theta = \Theta^П \times \Theta^K$.

Шаг 5. Для каждого сочетания СБИС МП и степени важности данных осуществляется выбор таких конструкций помехоустойчивых кодов c_{kj} , которые обеспечивают требуемую вероятность отсутствия неустранимых ошибок в данных k -го типа: $Pe_{kcj}(c_{kj}) \geq Pe_k^Д$.

При этом должны выполняться условия по минимальной информационной избыточности, вносимой помехоустойчивым кодом, $\langle c_{kj}^* \rangle = \arg \min \{red_c(c_{kj}^*)\}$, где $red_c(c_{kj})$ – информационная избыточность, вносимая помехоустойчивым кодированием.

Шаг 6. На основании выбранных типов и конструкций помехоустойчивого кода для каждого типа данных и сочетаний МП и КТНИ расчет эффективной емкости сочетаний МП и КТНИ: $Vef_{kj} = v_j / red_c(c_{kj})$.

Шаг 7. По структуре данных и требованиям к информационной емкости БСХД V_{\min} рассчитывается потребная информационной емкости подструктуры БСХД для каждого из типов хранимых данных: $Vmin_k = V_{\min} \cdot f_k$.

Шаг 8. Для каждой из степеней важности формируется множество подструктур, удовлетворяющих критерию пригодности. Декомпозиция в соответствии с выделяемыми степенями важности данных: $k = 0$.

Шаг 9. В процессе формирования подструктур и выбора конструкции восстанавливающих кодов методом ветвей и границ решается подзадача:

$$\{So_k^*, Sp_k^*\}: \begin{cases} Pa_k(So^*, Sp^*) \geq Pa_k^Д; \\ V_k(So^*, Sp^*) \geq Vmin_k. \end{cases}$$

где So_k – частная подструктура БСХД для хранения данных k -й степени важности;

Sp_k – способы хранения для блоков данных k -й степени важности.

Шаг 10. Сформированы частные подсоставы и способы хранения для всех степеней K важности, предусмотренных в системе. Если да – то переход к шагу 11. Если нет – то выбор очередной степени важности данных и переход к шагу 9.

Шаг 11. Формируется полная структура БСХД путем решения «задачи о рюкзаке с мультивыбором». Задача формулируется следующим образом: для каждого j -го множества векторов подструктур с номерами от 1 до j найти $X = |x_{ij}|$, такое, что

$$X = \arg \max \sum_{i=1}^K \sum_{j \in N(So_k)}^N Vef_{ij} \cdot x_{ij}$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^K \sum_{j \in N(So_k)} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq M_{max} \cap \sum_{i=1}^K \sum_{j \in N(So_k)} g_{ij} \cdot x_{ij} \leq G_{max} \cap \sum_{i=1}^K \sum_{j \in N(So_k)} e_{ij} \cdot x_{ij} \leq E_{max} \cap \\ \cap \sum_{j \in N(So_k)} x_{ij} = 1 \cap i = 1 \dots K \cap x_{ij} \in \{0,1\} \cap j \in N(So_k). \end{aligned}$$

Задача решается методом динамического программирования. В результате формируется общая структура СХД, удовлетворяющая эксплуатационным требованиям, предъявляемым в ТТЗ на систему, а также обладающая максимальной эффективной информационной емкостью.

Шаг 12. Для определения пригодности функционирования сформированной СХД производится имитационное моделирование функционирования гетерогенной СХД.

Шаг 13. По результатам моделирования выносится решение о соответствии функционирования СХД критерию пригодности. В случае соответствия критерию пригодности синтез структуры СХД и управляющих воздействий в условиях максимальной загруженности считается законченным. Осуществляется переход к шагу 14. В случае неудовлетворения указанным требованиям вносятся необходимые корректировки и выполнение алгоритма синтеза структуры повторяется.

Шаг 14. Выдается сформированная структура СХД КА ДЗЗ и управляющих воздействий при максимальной загруженности БСХД: $\langle So, Sp_k^0 \rangle$.

Шаг 15. Вводятся исходные данные:

- требования к качеству функционирования БСХД - Ξ_f ;
- структура БСХД, сформированная по результатам работы Алгоритма... (этап построения БСХД), скорректированная в соответствии с результатами функционального контроля – So ;
- вектор состояния модулей накопителя СХД, сформированный по результатам функционального контроля БСХД, проведенного перед началом работы БОЭСК на очередном рабочем участке – $SS(t) = \langle v_1^n(t), v_2^n(t), \dots, v_N^n(t) \rangle$;
- новые данные для хранения: $Dn = \langle Vd, f_1, \dots, f_K \rangle$;
- способы хранения данных при максимальной загруженности БСХД – Sp_k^0 , рассчитанные по результатам работы алгоритма... (этап построения БСХД).

Шаг 16. На основании данных функционального контроля и времени поступления данных (t_n) оцениваются характеристики всех СБИС МП – (Ss), входящих БСХД – (So).

Шаг 17. Данные об объекте ОЭР делятся на K областей в соответствии с типом входящих в его состав данных (при поступлении данных ОЭР в виде потока пакетов от БОЭСК проводится априорная статистическая оценка количества пакетов в соответствии с количеством выделяемых степеней важности).

Шаг 18. Рассчитывается допустимая избыточность для хранения – $Red(Sp_k^0)$. Она выступает в качестве ограничений на способы хранения для вновь рассчитываемых способов хранения данных.

Шаг 19. Осуществляется декомпозиция в соответствии с типами данных: $k = 0$. Расчет способов хранения начинается для данных с наибольшей степенью важности.

Шаг 20. На основании состояния СХД и допустимой информационной избыточности для восстанавливающего кодирования $Red_a(a_k^0)$ выбирается конструкция восстанавливающего кодирования:

$$\begin{cases} k_k = \frac{V_k}{\min_i Vu_i / Red_a(a_k^0)} \\ \eta_k = Red_a(a_k^0) \cdot k_k \end{cases}$$

Шаг 21. Поиск размещения блоков данных по структуре СХД. Задача формулируется следующим образом: необходимо найти биекцию $b_k^*: n_k \rightarrow s$, такую, что

$$Pa_k(\Omega(B_k)) \rightarrow \max.$$

Шаг 22. В соответствии с выбранным размещением блоков по СХД – $\Omega(B_k)$, рассчитываются параметры помехоустойчивого кодирования:

$$\begin{cases} < c_{kj}^* >: Pe_k(c_{kj}^*) = \arg \max Pe_k(c_{kj}) \\ Red_c(c_{kj}^*) \leq Red_c(c_k^0) \end{cases},$$

где c_{kj} – выбранная конструкция помехоустойчивого кодирования для j -го типа МП, при хранении в нем k -го типа данных.

Шаг 23. На основании рассчитанного способа хранения данных для k -го типа данных $Sp_k = < a_k, \Omega(B_k), c_k >$ корректируется состояние системы $Ss(t)$ для дальнейших расчетов способов хранения (информационная емкость СБИС МП, в которые планируется размещение блоков данных, уменьшается соответственно числу и емкости блоков планируемых для размещения в них).

Шаг 24. Сформированы способы хранения для всех степеней K важности, предусмотренных в системе. Если да – то переход к шагу 26. Если нет – то переход к шагу 25.

Шаг 25. Выбирается очередная степень важности данных, и осуществляется переход к шагу 20.

Шаг 26. В случае возможности реализации на бортовых аппаратных средствах осуществляется имитационное моделирование функционирования БСХД с целью определения соответствия требованиям к качеству функционирования БСХД – Ξ_{Φ} .

Шаг 27. В случае соответствия требованиям к качеству функционирования БСХД осуществляется переход к шагу 28, если нет – осуществляются снижение требований к отказоустойчивости функционирования БСХД и переход к шагу 19.

Шаг 28. Осуществляется запись блоков данных по БСХД в соответствии с рассчитанными способами хранения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исходя из постановки задачи построения и применения гетерогенной СХД КА ДЗЗ, их можно отнести к классу задач комбинаторной оптимизации. Для решения такого вида задач существуют известные способы решения. Однако стоит отметить несколько особенностей.

Так, задачу поиска оптимального состава СХД и способов хранения для максимальной загрузки системы можно решить различными способами, в том числе и методом перебора, пусть даже это займет некоторое время. Однако это абсолютно неприемлемо для задачи применения СХД, так как выбор способа кодирования и размещения блоков данных по СХД должен производиться оперативно и решаться на устройстве управления СХД, обладающем относительно невысокой производительностью. В связи с этим для ее решения предлагается комбинированный способ для выбора типа восстанавливающего кодирования и размещения блоков данных по составу СХД. Выбор помехоустойчивого кодирования производится на основе типа МП, на который назначен блок данных, и исходя из типа блока данных.

Предложенный подход к повышению отказоустойчивости системы обработки и хранения информации ДЗЗ, основанный на построении и применении гетерогенной системы хранения данных, позволяет гибко управлять процессами хранения и их параметрами (параметрами кодирования и размещения блоков данных по узлам системы), а также непосредственно состоянием системы хранения данных в условиях ее деградации (старение входящих в состав системы структурных элементов, их сбой и отказы).

Разработанный алгоритм позволяет формировать управляющие воздействия на СХД с учетом ее состояния, что обеспечивает достижение максимального значения показателя отказоустойчивости в пределах заданных ограничений.

С практической точки зрения приведенный в статье алгоритм может быть применен при проектировании перспективных бортовых систем хранения неоднородных по важности данных. При этом учитываются начальная важность областей данных ДЗЗ, состав и состояние СХД, а также соответствие эксплуатационных характеристик СХД заданным требованиям.

Список используемых источников

1. Исследования потери информации в микросхемах флэш-памяти в активном и пассивном режимах при ионизирующем воздействии / А.Г. Петров, А.В. Уланова, А.И. Чумаков, А.Л. Васильев // Радиационная стойкость электронных систем – «Стойкость- 2014». – М., 2014. – Вып. 17. – С. 175–176.
2. Савиных В.П., Соломатин В.А. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования. – М.: Недра, 1996. – 315 с.
3. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года. – М.: Федеральное космическое агентство, 2006. – 72 с.
4. Захаров И.В., Кремез Г.В., Максимов В.А. Построение распределенных запоминающих устройств бортовых вычислительных систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Вып.652. – С.160–166.
5. A Survey on Network Codes for Distributed Storage. / A.G. Dimakis, K. Ramchandran, Y. Wu, C. Suh // CSIT. – 2010. – P. 12–18.
6. Wu Y., Dimakis A.G., Ramchandran K. Deterministic Regenerating Codes for Distributed Storage // Allerton Con. Control Computing and Communication. – 2007. – P. 236–242.
7. Weatherspoon H., Kubiatowicz J. Erasure coding vs. replication: A quantitative comparison // Proceedings of the First International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS 2015). – 2015. – P. 65–78.
8. ILM Library: Information Lifecycle Management Best Practices / Guide Babette Haeusser, Alex Osuna, Christian Bosman, Dirk Jahn, Giulio John Tarella. – IBM. – 2016. – 256 p.
9. Herz E. EO and SAR Constellation Imagery Collection Planning // Proceedings of the 14-th International Conference on Space Operations. – SpaceOps AIAA. – 2014. – 214 p.
10. Technical and Economical Comparison Between a Modular Geostationary Space Platform and a Cluster of Satellites / P. Molette, C. Cougnet, R. Young, D. Helas // Acta Astronautica. – Pergamon Press Ltd. – 1984. – 12 (11). – P. 771–784.

А.В. Ананьев,

кандидат техн. наук

ФНПЦ АО "НПП "Полет", г. Нижний Новгород; ВУНЦ ВВС ВВА
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж;

В.И. Гончаренко,

доктор техн. наук, доцент

МАИ, ИПУ РАН, г. Москва;

В.И. Лютин,

кандидат техн. наук, старший научный сотрудник

ВУНЦ ВВС ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАВЕДЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЦЕЛИ РАЗЛИЧНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Особенностью решаемой задачи автоматического наведения беспилотных летательных аппаратов малой дальности являются наличие условий противодействия и отсутствие возможности использования спутниковой навигации и наземных маркеров. Для ее решения предложено применение теории нелинейной фильтрации условных марковских процессов и синтезирован квазилинейный алгоритм автоматического наведения беспилотного летательного аппарата. На основе полученного алгоритма в гауссовском приближении установлены потенциальные возможности по точности слежения автоматической многоканальной компенсированной системой датчиков. С использованием разработанного методического аппарата определен способ объединения результатов наблюдений в различных диапазонах длин волн собственных и отраженных излучений. Предложен способ решения уравнения Стратоновича для совместной фильтрации при неравновероятных дискретных параметрах, отличающийся рациональным представлением вероятностей перехода для дискретных параметров.

Ключевые слова: комплексирование результатов наблюдений, автоматическое слежение, точность слежения, теория нелинейной фильтрации, отношение правдоподобия, вероятность обнаружения объекта, навигация.

ВВЕДЕНИЕ

Решение задачи навигации в различных условиях применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) рассматривалось в [1–9]. Особенно трудным является применение БЛА в условиях конфликта, когда противодействующая сторона всеми имеющимися средствами воздействует на БЛА [10–12]. Как показали результаты анализа, из перечня применяемых классов БЛА наибольшему воздействию подвержены БЛА малой дальности (МД) [10]. Это объясняется их широким применением, относительной неуязвимостью таких БЛА, часто требуемыми радиусом действия и массой полезной нагрузки. В условиях противодействия БЛА МД могут стать единственно возможным эффективным средством для выполнения, например, разведывательных задач. В связи с этим точность позиционирования БЛА МД в заданных областях пространства является актуальной задачей.

Наиболее распространенной является спутниковая навигация БЛА [2–4], однако она сильно уязвима к постановке радиопомех и может быть нарушена противодействующей стороной. Другим средством навигации может быть инерциальная навигационная система (ИНС), наибольшая эффективность применения которой достигается при комплексировании со спутниковой системой навигации [2–4]. Следует отметить, что БЛА МД ввиду малых размеров и низкой массы полезной нагрузки не могут использовать ИНС с точностью, достаточной для навигации. Кроме того, уязвимость радиоканалов в жестких условиях противодействия БЛА также затрудняет и относительную навигацию [7]. Общим недостатком использования радиоканалов, преимущественно спутниковой навигации, является затруднение их использования в северных широтах, где особенно важна автономная навигация БЛА.

В представленной ситуации наиболее приемлемыми являются корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) [6, 7], основная идея которых заключается в использовании информации о пространственно-энергетических характеристиках объектов и фонов, получаемой как различными способами при наблюдении собственных и/или отраженных излучений объекта, так и в различных участках спектра электромагнитного излучения – ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном, радиоволновом. При этом изображение просматриваемой области пространства не интерпретируется как обычный зрительный образ, воспринимаемый человеком, а является трех-, четырехмерным и более образом, пригодным для машинного восприятия и представляющим собой добываемую всеми доступными наблюдателю средствами совокупность сведений об окружающих наблюдателя объектах. Стремление к использованию результатов наблюдений цели в различных участках спектра электромагнитного излучения приводит к необходимости разработки систем с комплексированными средствами слежения. В составе систем слежения могут быть применены телевизионные, тепловизионные, радиолокационные и другие средства формирования изображений [13, 14].

В связи со слабой изученностью возможностей построения комплексированных систем автоматического слежения, необходимых как для оценки точности слежения, так и для разработки способов их подавления, актуальным становится решение задачи синтеза алгоритма функционирования автоматических систем слежения при наведении БЛА в заданную точку с комплексированием наблюдений в различных диапазонах длин волн собственных и отраженных излучений.

Таким образом, *цель работы* – это синтез алгоритма автоматического наведения беспилотных летательных аппаратов на основе комплексирования известных средств слежения в различных диапазонах длин волн собственных и отраженных излучений.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАВЕДЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Автоматическое слежение заключается в совмещении оптической оси комплексированной системы датчиков с линией визирования объекта. По величине углов отклонения оптической оси датчиков от строительной оси БЛА в вертикальной и горизонтальной плоскостях вырабатываются команды корректировки движения БЛА.

Методом решения подобных задач является применение теории нелинейной фильтрации, в частности теории совместной фильтрации дискретных и непрерывных марковских процессов [15, 16], применяемых в том числе при решении задач навигации [13]. При этом характер изменений вида объекта в каждом из каналов наблюдения, обусловленный поворотами и преднамеренными видоизменениями наблюдаемого объекта, предполагается описывать дискретной марковской цепью. Причем сами виды объекта и их число заранее заданы, а характер изменения единых для изображений во всех каналах наблюдения непрерывных параметров – угловых отклонений линии визирования от оптической оси в двух взаимно перпендикулярных плоскостях – от кадра к кадру, в силу медленности их изменения, предполагается описывать гауссовской марковской последовательностью в дискретном времени. Примем, что наблюдение объекта ведется в N каналах, каждый из которых соответствует одному из диапазонов длин волн, а совмещение линии визирования и оптической оси нужно выполнить в одной плоскости, т. е. наблюдение зависит от многих дискретных и одного непрерывного параметров. Пусть априорное распределение вероятностей дискретных параметров на первом шаге – равномерное $P(\mu_1^{(n)}) = M_n^{-1}$, где M_n – число различаемых дискретных

параметров в n -том канале наблюдения; $\mu^{(n)} = 1, \dots, M_n$ – значения дискретных параметров, определяющих вид наблюдаемого объекта в n -том канале наблюдения, $n = 1, \dots, N$. Для каждого из дискретных параметров заданы одношаговые условные вероятности $\pi_n(\mu_k^{(n)} | \mu_{k-1}^{(n)})$ перехода дискретных параметров $\mu^{(n)}$ из состояния $\mu_{k-1}^{(n)}$ на $(k-1)$ -том шаге в состояние $\mu_k^{(n)}$ на k -том шаге. Допустим также, что априорное рекуррентное стохастическое уравнение для изменений непрерывного параметра в дискретном времени имеет вид

$$\lambda_k = R_\lambda \cdot \lambda_{k-1} + \sigma_\lambda \cdot \sqrt{1 - R_\lambda^2} \cdot \xi_k, \quad (1)$$

где R_λ – коэффициент корреляции значений параметра на соседних шагах;

σ_λ^2 – априорная дисперсия параметра;

ξ_k – последовательность стандартных нормальных чисел, при $\overline{\xi_k} = 0$, $\overline{\xi_k^2} = 1$, $k = 1, 2, \dots$

Будем считать, что в каждом канале на фоне аддитивного гауссовского шума наблюдаются последовательности изображений объекта и прилегающего фона на плоскости $\{s_{ijk}^{(n)}(\lambda_k, \mu_k^{(n)}), i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, n = 1, \dots, N\}$

$$y_{ijk}^{(n)} = s_{ijk}^{(n)}(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) + n_{ijk}^{(n)}, \quad (2)$$

где $n_{ijk}^{(n)}$ – отсчеты белых шумов с дисперсиями σ_n^2 ;

i, j – номера элементов изображений;

I_n, J_n – размеры изображений в каждом из n каналов наблюдения.

В силу независимости шумов функция правдоподобия параметров записывается в виде произведения плотностей распределения вероятностей помех, представляющих собой одношаговые функции правдоподобия [4]

$$L(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \prod_{m=1}^{M_n} \prod_{i=1}^{I_n} \prod_{j=1}^{J_n} w\left\{y_{ijk}^{(n)} - s_{ijk}^{(m)}(\lambda_k, \mu_k^{(m)})\right\}, \quad n = 1, \dots, N, \quad (3)$$

где $w(\bullet)$ – плотности распределения вероятностей значений отсчетов шумов, полагающиеся нормальными;

$\mu_k^{(n)}$, $n = 1, \dots, N$ – значения дискретных параметров в N каналах наблюдения на k -том шаге.

Благодаря подобному представлению логарифм одношаговой функции правдоподобия (ЛОФП) записывается в виде суммы ЛОФП для каждого из дискретных параметров

$$\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \sum_{m=1}^{M_n} \Pi_{km}(\lambda_k, \mu_k^{(m)}), \quad n = 1, \dots, N. \quad (4)$$

При гауссовском характере шумов ЛОФП и в случае неэнергетических параметров записывается в виде [15–18]

$$\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \sum_{m=1}^{M_n} \sigma_n^{-2} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ijk}^{(n)} \cdot s_{ijk}^{(m)}(\lambda_k, \mu_k^{(m)}), \quad n = 1, \dots, N. \quad (5)$$

При оптимальной обработке формируется финальное апостериорное совместное распределение вероятностей параметров $\lambda_k, \mu_k^{(n)}$, $n = 1, \dots, N$, определяемое рекуррентным уравнением

$$w_{ps}(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = h_k \cdot \exp\left\{\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)})\right\} \cdot w^3(\lambda_k, \mu_k^{(n)}), n=1, \dots, N, \quad (6)$$

где постоянная нормировки $h_k^{-1} = \sum_{n=1}^N \int_{\{\lambda_k\}} \exp\left\{\Pi_k(\lambda_k, \mu_k^{(n)})\right\} \cdot w^3(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) d\lambda_k$.

Входящая в выражение (6) экстраполированная на один шаг плотность вероятности непрерывного параметра при фиксированных значениях дискретных параметров составит

$$w^3(\lambda_k, \mu_k^{(n)}) = \int_{\{\lambda_{k-1}\}} \prod_{m=1}^{M_n} w(\lambda_k, \mu_k^{(m)} | \lambda_{k-1}, \mu_{k-1}^{(m)}) \times w_{ps}(\lambda_{k-1}, \mu_{k-1}^{(m)}) \cdot d\lambda_{k-1}, \quad n=1, \dots, N, \quad (7)$$

где $w(\lambda_k, \mu_k^{(m)} | \lambda_{k-1}, \mu_{k-1}^{(m)}) = w(\lambda_k | \lambda_{k-1}) \cdot p(\mu_{k-1}^{(m)}) \cdot \pi(\mu_k^{(m)} | \mu_{k-1}^{(m)})$, $p(\mu_{k-1}^{(m)})$, $m=1, \dots, N$ – апостериорные вероятности дискретных параметров в каждом из m каналов на $(k-1)$ -м шаге.

Уравнение (6) – уравнение Стратоновича [5] – разрешимо относительно непрерывного параметра λ_k в условиях гауссовского приближения для апостериорного распределения $w(\lambda_k)$, равно вероятности и независимости каждого из дискретных параметров на каждом шаге, когда одношаговые условные вероятности перехода дискретных параметров равны между собой [4]:

$$\pi_m(\mu_k^{(m)} | \mu_{k-1}^{(m)}) = 1/M_n, \quad m=1, \dots, M_n. \quad (8)$$

При неравных одношаговых условных вероятностях $\pi_n(\mu_k^{(m)} | \mu_{k-1}^{(m)})$ перехода дискретных параметров $\mu^{(m)}$ из состояния $\mu_{k-1}^{(m)}$ на $(k-1)$ -м шаге в состояние $\mu_k^{(m)}$ на k -м шаге решение задачи сводится к случаю равновероятных переходов, если вероятности переходов представить в виде рациональных дробей:

$$\pi_n(\mu_k^{(m)} | \mu_{k-1}^{(m)}) = l_m / K_n, \quad \sum_{m=1}^{M_n} l_m = K_n, \quad (9)$$

где $K_n > M_n$ – множество различаемых значений дискретного параметра, расширенное по сравнению с M_n за счет добавления повторяющихся элементов;

l_m – число одинаковых значений дискретного параметра с номером m из множества M_n .

Правило решения об оценках параметров $\hat{\mu}_{k,m}^{(n)}$, $m=1, \dots, M_n$, $n=1, \dots, N$ основывается на критерии максимума апостериорных распределений вероятностей, определяемых путем усреднения (6) по λ_k и записывается в виде

$$\hat{\mu}_k^{(n)} = \arg \max_m P_{ps}(\mu_{k,m}^{(n)}), m=1, \dots, M_n, n=1, \dots, N, \quad (10)$$

где $P_{ps}(\mu_{k,m}^{(n)}) = \int_{-\infty}^{\infty} w_{ps}(\lambda_k, \mu_{k,m}^{(n)}) w(\lambda_k) d\lambda_k$.

При малом уровне собственных шумов в случае медленных изменений непрерывного параметра (постоянного в каждом кадре) безусловное финальное апостериорное распределение вероятностей непрерывного параметра $P_{ps}(\lambda_k)$ целесообразно искать в виде гауссовского закона [15, 16, 18], в котором апостериорное среднее m_k является оценкой непрерывного па-

параметра $\hat{\lambda}_k = m_k$, а апостериорная дисперсия d_k характеризует точность оценивания непрерывного параметра или точность слежения.

Применяя разложение ЛОФП в ряд Тейлора по непрерывному параметру в окрестности значения $\lambda_k^3 = R_\lambda \cdot \hat{\lambda}_{k-1}$, соответствующего максимуму экстраполированной плотности вероятности непрерывного параметра, из выражений (6) и (7) получаем алгоритм определения апостериорных вероятностей дискретных параметров и фильтрации непрерывного параметра в виде трех уравнений: для апостериорной вероятности дискретного параметра; для оценки непрерывного параметра; для дисперсии оценки непрерывного параметра

$$P_{ps}(\mu_k^{(n)}) = C_k \cdot \prod_{m=1}^{M_n} \left[\exp \left\{ \Pi_k(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)}) \right\} \cdot \sqrt{\chi_k(\mu_k^{(m)}) \cdot D^{-1}} \times \right. \\ \left. \times \exp \left\{ \frac{1}{2} \cdot \chi_k(\mu_k^{(m)}) \cdot \left[\Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)}) \right]^2 \right\} \right], n = 1, \dots, N, \quad (11)$$

$$\hat{\lambda}_k = \lambda_k^3 + \sum_{n=1}^N \pi_n(\mu_{kn} | \mu_{k-1n}) \cdot \chi_k(\mu_k^{(n)}) \cdot \sum_{m=1}^{M_n} P_{ps}(\mu_k^{(m)}) \cdot \Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)}), \quad (12)$$

$$d_k = C_k \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} \frac{\exp \left\{ \Pi(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)}) \right\}}{\sqrt{\chi_k(\mu_k^{(n)}) \cdot D^{-1}}} \cdot \exp \left\{ \frac{1}{2} \cdot \chi_k(\mu_k^{(n)}) \cdot \left[\Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)}) \right]^2 \right\} \times \\ \times \left[\left(\chi_k(\mu_k^{(n)}) \cdot \Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)}) + \lambda_k^3 - \hat{\lambda}_k \right)^2 + \chi_k(\mu_k^{(n)}) \right], \quad (13)$$

где $\mu_k^{(n)}$ – значение дискретного параметра;

C_k – постоянная нормировки;

$\chi_k(\mu_k^{(n)})$ – кумулянт экстраполированного распределения вероятностей непрерывного параметра, трактуемый как коэффициент усиления в цепи обратной связи петли автоматического слежения, определяемый выражением

$$\chi_k(\mu_k^{(n)}) = \frac{D}{1 - D \cdot \bar{\Pi}_{\lambda\lambda}''(\lambda_k^3, \mu_n)}.$$

Здесь

D – дисперсия экстраполированной оценки непрерывного параметра,

$$D = d_0 + R_\lambda^2 \cdot d_{k-1}$$

d_0 – дисперсия плотности вероятности перехода для гауссовской марковской последовательности, $d_0 = (1 - R_\lambda^2) \cdot \sigma_\lambda^2$;

$\Pi'_\lambda(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)})$ – первая производная от логарифма одношаговой функции правдоподобия, определяющая сигнал рассогласования с выхода дискриминатора пространственного положения объекта при μ_i ракурсе, вырабатываемый i -м средством наблюдения;

$\bar{\Pi}_{\lambda\lambda}''(\lambda_k^3, \mu_k)$ – сигнальная часть второй производной ЛОФП [1]

$$\bar{\Pi}_{\lambda\lambda}''(\lambda_k^3, \mu_k) = -q_{\mu k} \cdot R_{\lambda\lambda}''(0, \mu_k),$$

где $q_{\mu k}$ – отношение сигнал/шум; $R_{\lambda\lambda}''(0, \mu_k)$ – вторая производная от функции корреляции наблюдаемого изображения.

Значения величин $\chi_k(\mu_k^{(n)})$ при высоких отношениях сигнал/шум стремятся к нулю, а при отношениях сигнал/шум, близких к нулю, – не превосходят величины D . Для приведения алгоритмов к упрощенному виду величину $\chi_k(\mu_k^{(n)})$ целесообразно выбрать одинаковой для всех значений дискретного параметра каждого канала и соответствующей стационарному режиму наблюдения, наступающему после предварительного указания местоположения объекта и включения режима его сопровождения комплексированной системой слежения перед пуском БЛА. Выбранное значение, обеспечивающее сходимость алгоритма вычисления оценки непрерывного параметра, обозначим κ_n и назовем *шагом подстройки*.

В этих условиях алгоритм оценивания непрерывного параметра (12) принимает вид

$$\hat{\lambda}_k = \lambda_k^3 + \sum_{n=1}^N \kappa_n \cdot \sum_{m=1}^{M_n} P_{ps}(\mu_k^{(m)}) \cdot \Pi'_k(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)}). \quad (14)$$

Апостериорные вероятности дискретных параметров составят

$$P_{ps}(\mu_k^{(n)}) \cong \exp\left\{\Pi_k(\lambda_k^3, \mu_k^{(n)})\right\} \cdot \left[\sum_{m=1}^{M_n} \exp\left\{\Pi_k(\lambda_k^3, \mu_k^{(m)})\right\}\right]^{-1}, \quad n=1, \dots, N. \quad (15)$$

Как видно из алгоритма (14), оценка непрерывного параметра, определяющего положение объекта, формируется как весовая сумма сигналов рассогласования, определяемых первыми производными от ЛОФП. При этом в качестве весов выступают апостериорные вероятности обнаружения объектов, наблюдаемых в различных диапазонах длин волн.

Структурная схема системы автоматического слежения с комплексированием наблюдений в различных диапазонах длин волн показана на рис 1.

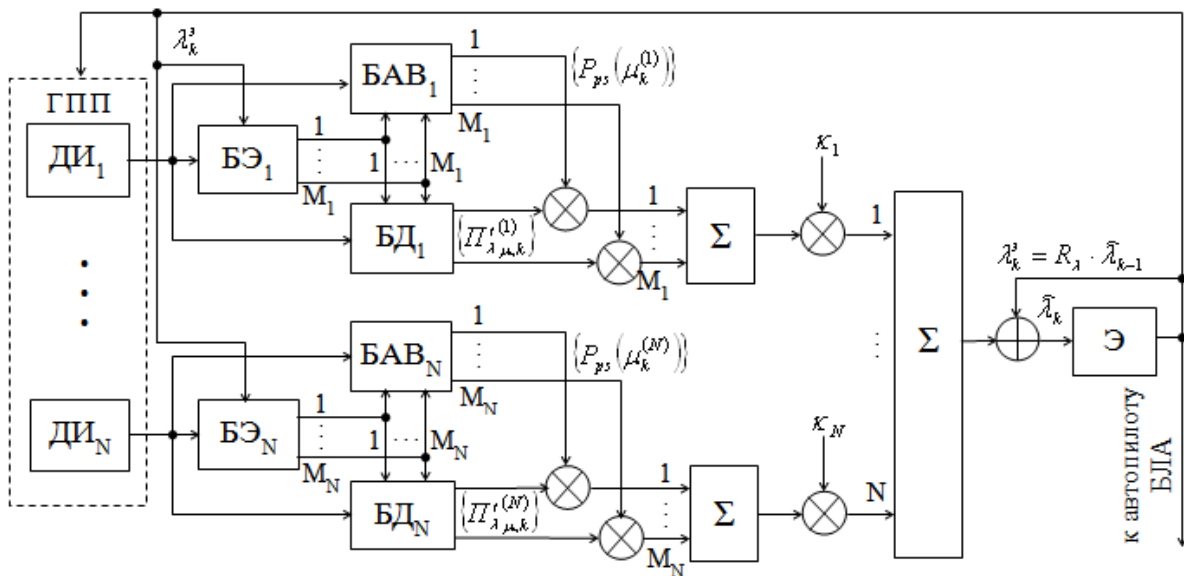


Рис. 1. Структурная схема комплексированной системы автоматического слежения

Изображения цели, формируемые датчиками изображений $ДИ_n$, $n = \overline{1, N}$, различных спектральных диапазонов, установленных на гиросtabilизированной поворотной платформе (ГПП), сравниваются в блоках дискриминаторов $БД_n$ с эталонными изображениями, хранящимися в банках эталонов $БЭ_n$. В дискриминаторах вырабатываются сигналы, пропорциональные производным от ЛОФП по параметрам. В блоках апостериорных вероятностей

БАВ_n вычисляются апостериорные вероятности соответствия наблюдений эталонам. Кумулянты экстраполированного распределения вероятностей непрерывного параметра являются коэффициентами усиления в каждом из каналов. В сумматоре Σ суммируются произведения сигналов рассогласования с выходов дискриминаторов, апостериорных вероятностей наблюдаемых изображений и коэффициентов усиления. Результат суммирования далее складывается с экстраполированной оценкой непрерывного параметра, запоминаемой на один шаг в экстраполиаторе (Э). Экстраполированные оценки непрерывных параметров используются для коррекции эталонных изображений и формирования команд управления поворотом ГПП и движением БЛА к цели. Отличительная особенность синтезированной структурной схемы заключается в ее замкнутости как системы автоматического управления с обратной связью по решению. Подобный результат не удастся получить, используя теорию оценивания непрерывных параметров.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ СЛЕЖЕНИЯ

Задача определения потенциальной точности слежения при многоальтернативной ситуации наблюдения объекта чрезвычайно сложна, поэтому для проведения предварительного анализа влияния качества обнаружения объекта на точность слежения был рассмотрен случай, заключающийся в следующем:

– в каждом из каналов наблюдается объект с постоянным контрастом на равномерном фоне;

– объект виден и обнаруживается с вероятностями P_n в каждом из каналов.

Вероятности обнаружения равномерного объекта на равномерном фоне в условиях действия собственных шумов определяются соотношением [12]

$$P_n = 0,5 - \Phi_0(u - q_n), n = 1, \dots, N, \quad (16)$$

где q_n – параметр обнаружения объекта, имеющий смысл отношения сигнал/шум, в n -м канале наблюдения;

Φ_0 – нормированная функция ошибок, при этом $\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp\{-t^2/2\} dt$;

u – число, определяемое вероятностью ложной тревоги F , $u = \Phi_0^{-1}(F - 0,5)$.

Вероятность обнаружения объекта комплексированной системой датчиков изображений [14]

$$P = 0,5 - \Phi_0\left(u - \sum_{n=1}^N q_n\right). \quad (17)$$

Параметр обнаружения объекта комплексированной системой датчиков

$$q = \sum_{n=1}^N q_n. \quad (18)$$

Точность слежения определяется из рекуррентного уравнения для апостериорной дисперсии оценивания непрерывного параметра d_k , которое с введением понятия относительной апостериорной дисперсии $\delta_k^2 = d_k / \sigma_\lambda^2$, где $\sigma_\lambda^2 = (\alpha_0 \cdot L)^2$ – априорная дисперсия непрерывного параметра при среднеквадратическом значении α_0 углового отклонения неуправляемого полета БЛА и дальности пуска L , имеет вид [18–21]

$$\delta_k^2 = \frac{P}{\left[1 + R_\lambda^2 \cdot (\delta_{k-1}^2 - 1)\right]^{-1} + z} + \frac{1 - P}{\left[1 + R_\lambda^2 \cdot (\delta_{k-1}^2 - 1)\right]^{-1}}, \quad (19)$$

где $z = \sigma_\lambda^2 q$ – обобщенный параметр обнаружения объекта комплексированной системой.

Относительная апостериорная дисперсия оценки непрерывного параметра уменьшается при увеличении обобщенного параметра обнаружения объекта комплексированной системой, следовательно, для повышения точности слежения нужно увеличивать как число каналов наблюдения, так и параметр обнаружения объекта комплексированной системой датчиков.

Вероятность удержания оптической оси комплексированной системы слежения в пределах видимой проекции цели [18, 19]

$$P_c = \left[0,5 - \Phi_0(\Delta\phi_g / (\sigma_\lambda \cdot \delta)) \right] \cdot \left[0,5 - \Phi_0(\Delta\phi_v / (\sigma_\lambda \times \delta)) \right], \quad (20)$$

где $\Delta\phi_g, \Delta\phi_v$ – угловые размеры видимой проекции заданной области пространства (цели) по двум взаимно перпендикулярным направлениям на плоскости изображения (по вертикали и горизонтали);

δ – стационарное решение рекуррентного уравнения (19) для относительной апостериорной дисперсии, наступающее через 5–10 шагов.

Допустим, что один из параметров q_N (или несколько параметров) не определяем, но возможно задание вероятности обнаружения объекта в соответствующем канале комплексированной системы либо вероятности необнаружения или задание вероятности подавления $P_{\text{под}N}$ датчика. Тогда вероятность работоспособности системы слежения, датчик которой подавляется, составит

$$P_N = 1 - P_{\text{под}N}. \quad (21)$$

Из выражения (16) находим недостающий параметр обнаружения факта работоспособности подавляемой системы слежения

$$q_N = \Phi_0^{-1}(F_N - 0,5) - \Phi_0^{-1}(0,5 - P_N), \quad (22)$$

где F_N – вероятность ложной тревоги подавляемой системы слежения.

Значение параметра обнаружения факта работоспособности подавляемой системы слежения подставляется далее в (18), найденный параметр обнаружения объекта комплексированной системой датчиков – в рекуррентное уравнение (19), из которого и определяется стационарное решение δ . Подстановкой величины δ в выражение (20) определяется искомая вероятность удержания оптической оси комплексированной системы слежения в пределах видимой проекции цели.

При слежении основным ограничивающим фактором применения средств наблюдения каждого из диапазонов длин волн является дальность до объекта наблюдения. Поэтому особенности комплексированных систем зачастую заключаются в использовании каждой из систем поочередно.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ОШИБОК СЛЕЖЕНИЯ

С применением рекуррентного выражения (19) проведен расчет ошибок слежения относительно условного центра заданного района. При расчете учитывались только ошибки слежения $\Delta = \delta \cdot \sigma_\lambda$, м, даваемые системой слежения. С учетом собственных отклонений линии пути БЛА от заданного направления Δ_c , м, определенных техническими характеристиками, ошибка слежения [13]

$$\Delta_o = \sqrt{\Delta_c^2 + \Delta^2}. \quad (23)$$

На рис. 2,а изображены зависимости ошибок системы слежения Δ , м, от параметра обнаружения объекта комплексированной системой датчиков q при различных дальностях

наблюдения объекта L . На рис. 2,б показаны зависимости ошибок системы слежения Δ , м, от вероятности обнаружения объекта комплексированной системой датчиков.

При расчетах среднеквадратическое значение углового отклонения оптической оси от линии визирования цели при неработающей системе автоматического слежения принято равным $\alpha_0 = 10$ мрад, коэффициент корреляции непрерывного параметра $R_\lambda = 0,99$, вероятность ложной тревоги при обнаружении цели $F = 0,01$.

Как видно из рис. 2,а, увеличение параметра обнаружения объекта более 7 не приводит к снижению ошибок слежения, следовательно, ухудшение условий наблюдения объекта в каждом из каналов парируется увеличением числа каналов наблюдения. С другой стороны, если хотя бы один датчик комплексированной системы датчиков, например датчик GPS-системы, сохраняет высокую работоспособность при подавленных остальных, система слежения обеспечивает вывод БЛА в заданную точку с точностью, обеспечиваемой работоспособным датчиком. Следовательно, для нарушения работы комплексированной системы датчиков необходимо всемерно снижать параметр обнаружения объекта [3].

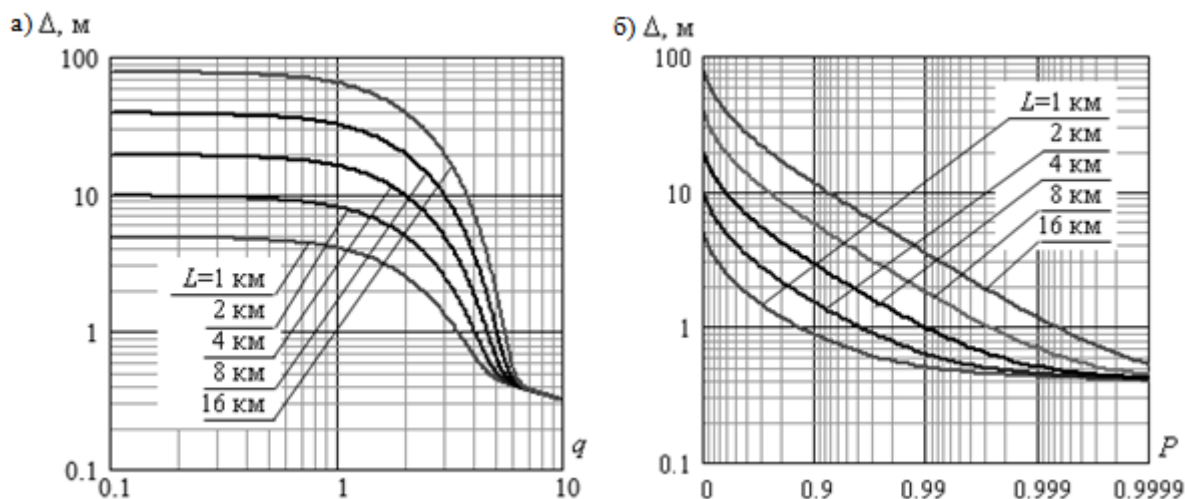


Рис. 2. Зависимости ошибок слежения при различных дальностях наблюдения:
а – от параметра обнаружения объекта; б – от вероятности обнаружения объекта

Как видно из рис. 2,б, при высокой вероятности обнаружения цели хотя бы одним датчиком комплексированной системы датчиков, например датчиком GPS-системы, при неработоспособных остальных, БЛА также выйдет в заданную точку. Следовательно, для нарушения работоспособности комплексированной системы датчиков необходимо всемерно снижать вероятность обнаружения цели каждым из датчиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате синтеза установлено, что в комплексированных системах автоматического слежения оптимальный способ объединения результатов наблюдения различными системами заключается в формировании единого сигнала управления поворотом совмещенной оптической оси вслед за объектом как результата весового суммирования сигналов рассогласований, вырабатываемых каждой из систем наблюдения. Причем в качестве весовых коэффициентов используются значения вероятностей обнаружения объекта каждой из систем наблюдения. Результаты анализа качества синтезированного алгоритма показывают, что существует значение параметра обнаружения, при котором точность слежения не зависит от дальности наблюдения объекта. При этом может быть произведен размен числа до-

ступных каналов наблюдения на качество обнаружения объекта в каждом из них, что является проявлением следующего синергетического эффекта. Совместным наблюдением нескольких датчиков с невысокими показателями качества обеспечивается слежение за плохо видимым или преднамеренно замаскированным объектом, чего нельзя достичь при использовании одного высококачественного датчика.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-29-04326 офи_м.

Список используемых источников

1. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации. – М.: Радио и связь, 1985. – 345 с.
2. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / К.К. Веремеенко, С.Ю. Желтов, Н.В. Ким и др.; под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. – М.: Физматлит, 2009. – 556 с.
3. Дардари Д., Фаллетти Э., Луизе М. Методы спутникового и наземного позиционирования. Перспективы развития технологий обработки сигналов. – М.: Техносфера, 2012. – 528 с.
4. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
5. Орлов В.К. Герчиков А.Г., Чернявский А.Г. Локальные радиотехнические системы межсамолетной навигации. – СПб: СПб ГЭТУ "ЛЭТИ", 2011. – 122с.
6. Красовский А.А., Белоглазов И.Н., Чигин Г.П. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
7. Сырямкин В.И., Шидловский В.С. Корреляционно-экстремальные радионавигационные системы. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2010. – 316 с.
8. Степанов О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. – СПб.: ГНЦ РФ «ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 370 с.
9. Нейросетевая модель первичной обработки сигналов глобальных навигационных спутниковых систем по критерию максимального правдоподобия / В.А. Авдеев, А.В. Назаров, Г.Д. Пантелеев, Н.С. Рубцов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2018. – Вып. 661. – С. 38–46.
10. Ананьев А.В., Гончаренко В.И. Сценарное планирование действий группы авиационных робототехнических комплексов в кооперативных средах // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2017): труды Десятой междунар. конф., 2–4 окт. 2017 года, Москва: в 2-х т. / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Т. 2: секции 7–13. – М.: ИПУ РАН, 2017. – С. 24–32.
11. Беспилотный разведывательный аппарат получит российская артиллерия. – URL: <http://aviation21.ru/bespilotnyj-razvedyvatelynyj-apparat-poluchit-rossijskaya-artilleriya/> (дата обращения: 21.06.2018).
12. Гончаренко В.И., Горченко Л.Д. Организация маневрирования аэробаллистических летательных аппаратов в условиях противодействия // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2017. – № 3. – С. 170–183.
13. Борисов Е.Г. Евдокимов Е.Г. Высокоточное оружие и борьба с ним: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2013 – 496 с.
14. Юхно П.М. Преднамеренные оптические помехи высокоточному оружию. – М.: Радиотехника, 2017. – 640 с.
15. Амиантов И.Н. Избранные вопросы статистической теории связи. – М.: Сов. радио, 1971. – 416 с.
16. Тихонов В.И., Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. – М.: Сов. радио, 1976. – 704 с.
17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2005. – 527 с.

18. *Лютин В.И.* Алгоритм автоматического слежения при наблюдении объектов в различных физических полях // Радиосистемы. Информационный конфликт в спектре электромагнитных волн. – 2001. – Вып. 57, №10. – С. 33–36.

19. *Лютин В.И.* Технология комплексирования тепловизионных и радиометрических изображений в задачах распознавания объектов // Научные технологии. – 2003. – №11-12. – С.3–6.

20. *Гончаренко В.И., Легович Ю.С., Рывкин С.Е.* Обработка телеметрической информации о кинематических параметрах движения летательных аппаратов на основе дискретного вейвлет-преобразования // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2016. – Т. 6, № 2. – С. 426–430.

21. Алгоритм оценивания характеристик баллистического объекта при неизвестных параметрах его математической модели движения и некачественной измерительной информации / В.И. Гончаренко, А.А. Кобзарь, А.А. Корнеев, Д.С. Кучерявенко // Вестник Казанского гос. технического университета имени А.Н. Туполева. – 2011. – № 4. – С. 128–135.

С.Х. Зиннуров,
кандидат техн. наук;
А.А. Ковальский,
кандидат техн. наук;
К.В. Ушанев
кандидат техн. наук

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СВЯЗИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТРАФИКА С УЧЕТОМ ЗАДЕРЖКИ В УПРАВЛЕНИИ

В статье сформулированы задачи адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи в виде имитационной модели системы массового обслуживания и получены результаты ее работы при обслуживании нестационарного потока сообщений, формируемого группой речевых абонентов. В качестве модели нестационарного потока сообщений, формируемого речевыми абонентами с учетом подавления сигнала в паузах, использована имитационная модель на базе Matlab/Simulink/SimEvents вместе с интерактивным инструментом разработки сложных моделей Stateflow. Разработана имитационная модель адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении. Разработан алгоритм адаптивного подключения резервных каналов связи при переполнении буфера телекоммуникационного устройства с целью обеспечения требуемого качества обслуживания информационных потоков.

Ключевые слова: космический аппарат связи, адаптивное резервирование, канальный ресурс, земная станция, имитационная модель, управление с задержкой.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–3] отмечается, что в настоящее время существует необходимость применения систем спутниковой связи (ССС) при организации доступа к современным инфокоммуникационным услугам, особенно это актуально для абонентов, находящихся в труднодоступных и удаленных регионах России. Вследствие обширности обслуживаемых территорий с большой абонентской базой и принципиальной ограниченности канального ресурса космических аппаратов связи (КАС), особое значение имеет задача динамического перераспределения канального ресурса КАС между активными и пассивными направлениями связи. Основными факторами, осложняющими решение этой задачи, являются высокие задержки распространения сигналов в спутниковых радиоперелиниях и, соответственно, запаздывание в управлении. Поэтому традиционно при распределении канального ресурса операторы связи ориентируются на пиковую нагрузку для каждого радионаправления с тем, чтобы обеспечить требуемое качество обслуживания даже в часы наибольшей нагрузки.

В работах [4–6] авторами предлагается альтернативный подход к распределению канального ресурса, в основе которого лежит оперативный маневр свободными ресурсными единицами (каналами связи) между более и менее загруженными радионаправлениями. Достижимый в результате статистического уплотнения эффект экономии пропускной способности по сути составляет выигрыш в пропускной способности КАС.

Для нивелирования задержки в управлении канальный ресурс, который закреплен за земной станцией (ЗС), формируется с некоторым избытком (резервом), который должен за данное время обеспечить требуемое качество обслуживания при случайном изменении интенсивности загрузки канала связи. Величина данного резерва определяется задержкой в управлении и динамикой изменения интенсивности нагрузки: чем выше эти показатели, тем

больше должен быть запас. Поэтому чем выше запас (резерв), тем меньше прогнозируемый выигрыш в пропускной способности за счет адаптивного резервирования. Таким образом, обоснование оптимального размера резервируемого канального ресурса для каждого абонента и составляет предмет исследования в данной работе.

ОПИСАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТИВНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА

Для проверки адекватности рассмотренных в [1–3] моделей и метода адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении и проверки сходимости результатов исследования было проведено имитационное моделирование. Для построения адекватной имитационной модели адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении был использован программный продукт, рекомендованный для проведения научных исследований в области математического и имитационного моделирования – Matlab/Simulink/SimEvents вместе с интерактивным инструментом разработки сложных моделей Stateflow.

Программный продукт Stateflow основан на использовании теории конечных автоматов и систем массового обслуживания и предназначен для проектирования логических систем массового обслуживания.

Необходимо отметить, что при моделировании сетей и систем связи или их элементов возникают сложности в представлении или моделировании сетевых пакетов. В общем случае сетевой пакет – это определенным образом сформированная совокупность данных, которая используется для передачи сообщения (информации) и обладает фиксированным объемом (для IPv4 – 4 бита, UDP – 8 бит и др.). В качестве сетевого пакета в Matlab/Simulink используются сущности (Entity), которые представляют собой дискретные элементы, позволяющие смоделировать изменения режимов работы сетевого оборудования и вызвать переходы состояний внутри систем. В зависимости от применяемой модели, данные сущности могут представлять собой совокупность самолетов, людей, сетевых пакетов и т. п. Генерация, движение и обработка сущностей (пакетов) в системе вызывают события (Event), такие, как получение или передача пакета сообщения, вылет самолета и т. п. Такие события изменяют состояния в системе и влияют на поведение системы.

Библиотека SimEvents позволяет моделировать такие компоненты сети, как сервер (Entity Server), источник пакетов (Entity Generator), буферная память (Entity Queue), а также учитывать порядок обслуживания пакетов, моделировать процесс коммутации пакетов (Entity Input/Output Switch), кроме того, анализировать и рассчитывать пропускную способность сети, задержки при передаче пакетов, число потерянных пакетов и др. В свою очередь, использование программного продукта Stateflow позволяет реализовать в имитационной модели логику переключения источника нестационарного трафика из активного состояния в состояние паузы.

Структурная схема имитационной модели адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении, реализованная в программной среде Matlab/Simulink, представлена на рис. 1

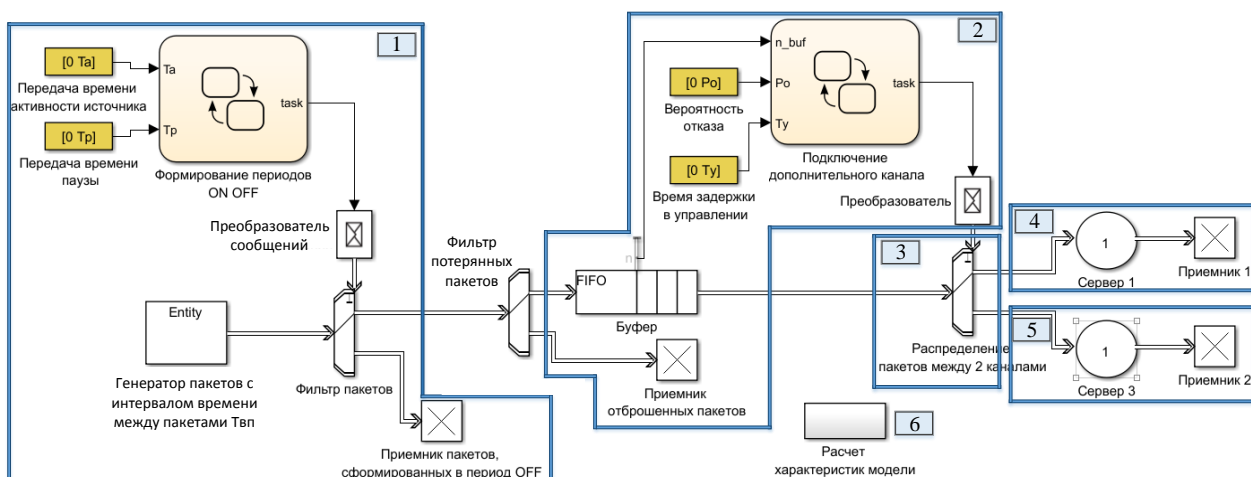


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении

Имитационная модель состоит из следующих структурно-функциональных блоков:

блок №1 – ON-OFF источник, который моделирует поступление нестационарного трафика в канал связи;

блок №2 – буфер с дисциплиной обслуживания FIFO (First in – first out, первый поступил – первый обслужен), который моделирует работу оперативной памяти модемного оборудования станции спутниковой связи при поступлении нестационарного трафика;

блок №3 – коммутационное устройство, предназначенное для распределения передаваемых пакетов между двумя каналами связи (основным и резервным, который адаптивно подключается при переполнении буфера в случае $P_{отк} \geq 0,01$);

блок №4 – первый сервер, который работает постоянно и моделирует функционирование основного спутникового канала связи;

блок №5 – второй сервер, который работает адаптивно и моделирует функционирование резервного (дополнительного) спутникового канала связи, подключение которого происходит в случае $P_{отк} \geq 0,01$;

блок №6 – в данном блоке производится расчет вероятностно-временных характеристик модели $P_{отк}$.

Указанные блоки в имитационной модели функционируют согласно разработанному алгоритму, представленному на рис. 2. На 1-м этапе работы алгоритма для формирования статистики производится ввод исходных данных (блок №2 алгоритма):

- количество генерируемых пакетов источником;
- количество источников трафика;
- интенсивность источников трафика;
- интенсивность активности источников трафика;
- интенсивность пауз источников трафика;
- емкость буфера устройства;
- количество каналов связи;
- скорость каналов связи;
- время задержки в управлении;

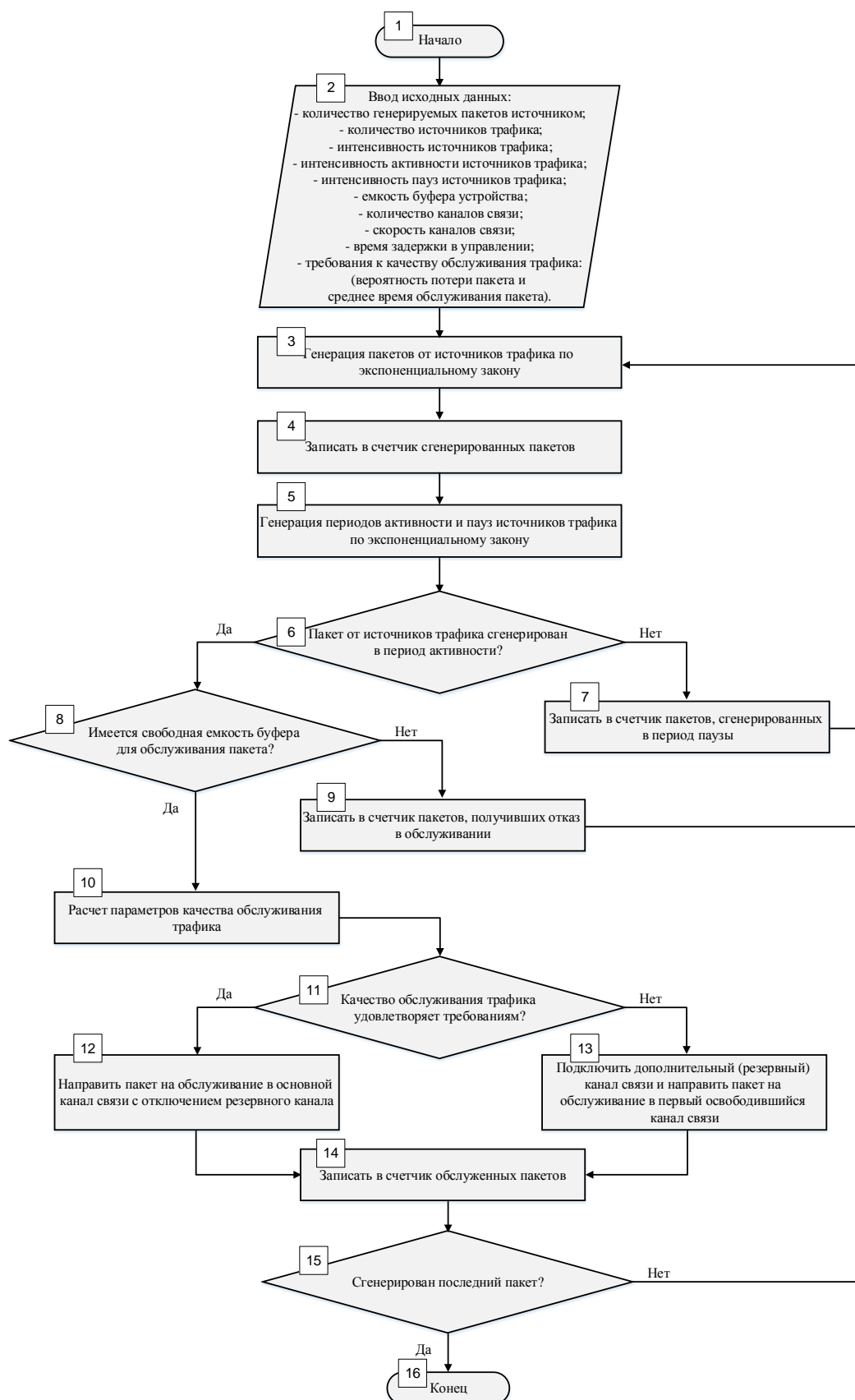


Рис. 2. Алгоритм адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении

– требования к качеству обслуживания трафика – вероятность потери пакета и среднее время обслуживания пакета.

На 2-м этапе производится генерация пакетов по заданному закону распределения с записью их в счетчик, а также генерация длительности активности и пауз источников трафика с последующей проверкой на условие генерации пакетов в активные периоды и записью их в счетчик пакетов (блоки №3–7).

На 3-м этапе проверяются условия наличия свободной емкости буфера устройства для обслуживания пакета с записью их в счетчик пакетов, получивших отказ в обслуживании из-за переполнения буфера (блоки №8 и 9).

На заключительном этапе производится расчет параметров качества обслуживания трафика с проверкой по критерию их удовлетворения заданным требованиям, в случае неудовлетворения происходит запрос на подключение резервного канала передачи данных (блоки №10–14).

Рассмотрим структурные блоки имитационной модели адаптивного резервирования канального ресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарного трафика с учетом задержки в управлении более подробно.

Генератор пакетов непрерывно в течение времени моделирования $T_{\text{мод}}$ генерирует пакеты (рис. 3). Логика работы ON-OFF источника предполагает, что пакеты поступают в систему только в периоды ON (активности источника), а в периоды OFF (паузы) пакеты в систему не поступают. При этом длительности периодов активности t_{on} и паузы t_{off} являются случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону.

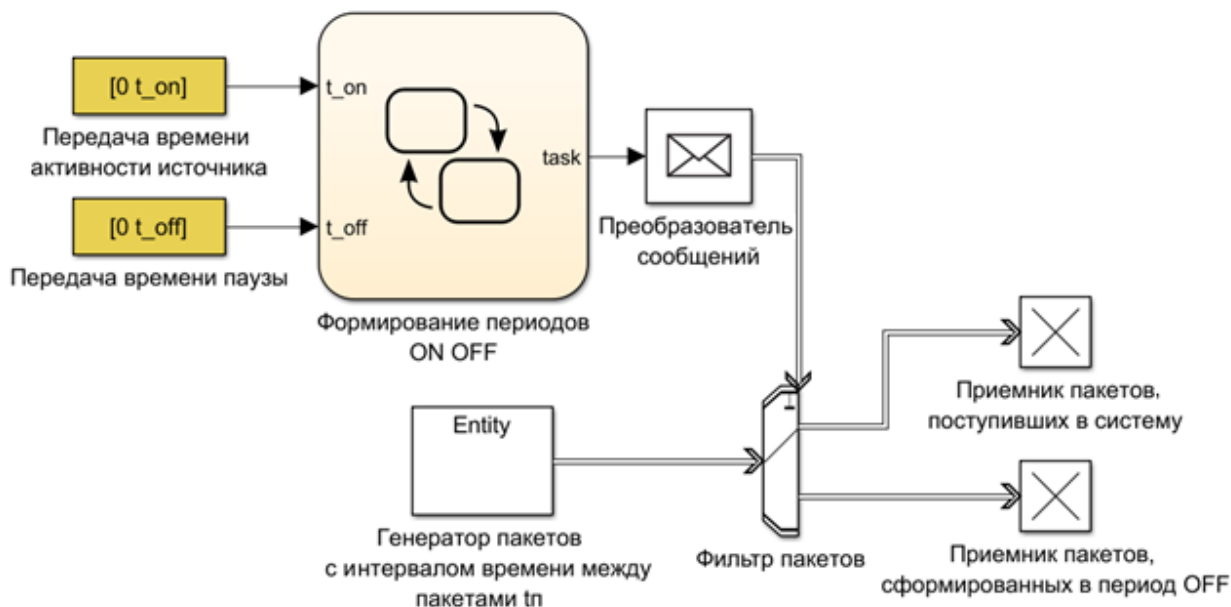


Рис. 3. Структурная схема имитационной модели ON-OFF источника нестационарного трафика

Для реализации данной особенности ON-OFF источника в модели используется блок Matlab/Simulink/Stateflow (формирование периодов ON OFF) (рис. 4). Блок ON находится в активном состоянии в течение времени t_{on} , заявки сформированные во время интервала t_{on} перемещаются в систему, так как активным считается выход 1 фильтра пакетов ($\text{task} =$

=1). После окончания интервала времени t_{on} активным становится блок OFF. Данный блок находится в активном состоянии в течение интервала времени t_{off} (рис. 4). Пакеты, сгенерированные в период активности блока OFF, в систему не поступают, в расчете характеристик модели не участвуют, перемещаются в приемник пакетов, сформированных в период OFF (task = 2) (рис. 4). Таким образом, интервалы активности и паузы источника являются случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону. Во время активности источника пакеты поступают в систему, а во время паузы – не поступают.

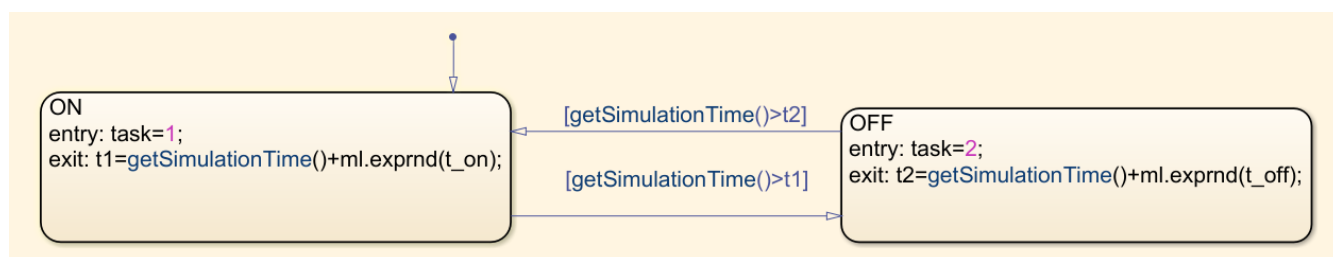


Рис. 4. Реализация переключения периодов активности и паузы

Рассмотрим работу составных элементов модели, расположенных в блоке № 2. В блоке № 2 основным элементом является буфер с дисциплиной обслуживания FIFO. Пакеты поступают в буфер после ON-OFF источника. В случае, если буфер занят, заявки, которые поступают в буфер, будут отбрасываться в приемник пакетов, не поступивших в систему. Вероятность потери пакетов для имитационной модели определяется при помощи отношения

$$P_{\text{отк}} = \frac{N_{\text{пот}}}{N_{\text{общ}}}.$$

Далее в модели используется блок Matlab/Simulink/Stateflow, который формирует запрос на подключение второго канала (рис. 5).

По умолчанию обслуживание пакетов происходит в первом сервере (Server_1, рис 6) со средним временем обслуживания одного речевого пакета $T_0 = 0.18$ с. В случае, если вероятность потери пакетов $P_{\text{отк}} \geq 0.01$, происходит переход в блок (Server_2) и формируется запрос на подключение второго канала (task = 2). При этом формирование запроса на подключение дополнительного канала происходит с учетом задержки в управлении ($T_y = 0.25$ с), т. е. подключение дополнительного канала происходит не мгновенно, а с учетом времени, необходимого для формирования запроса на подключение второго канала (рис. 6). После того как вероятность потери пакетов принимает значение $P_{\text{отк}} < 0.01$, использование второго канала прекращается и обслуживание пакетов производится через первый обслуживающий прибор (Server_1). Этот процесс попеременного использования двух обслуживающих приборов продолжается в течение времени моделирования $T_{\text{мод}} = 10 \times 10^6$ с.

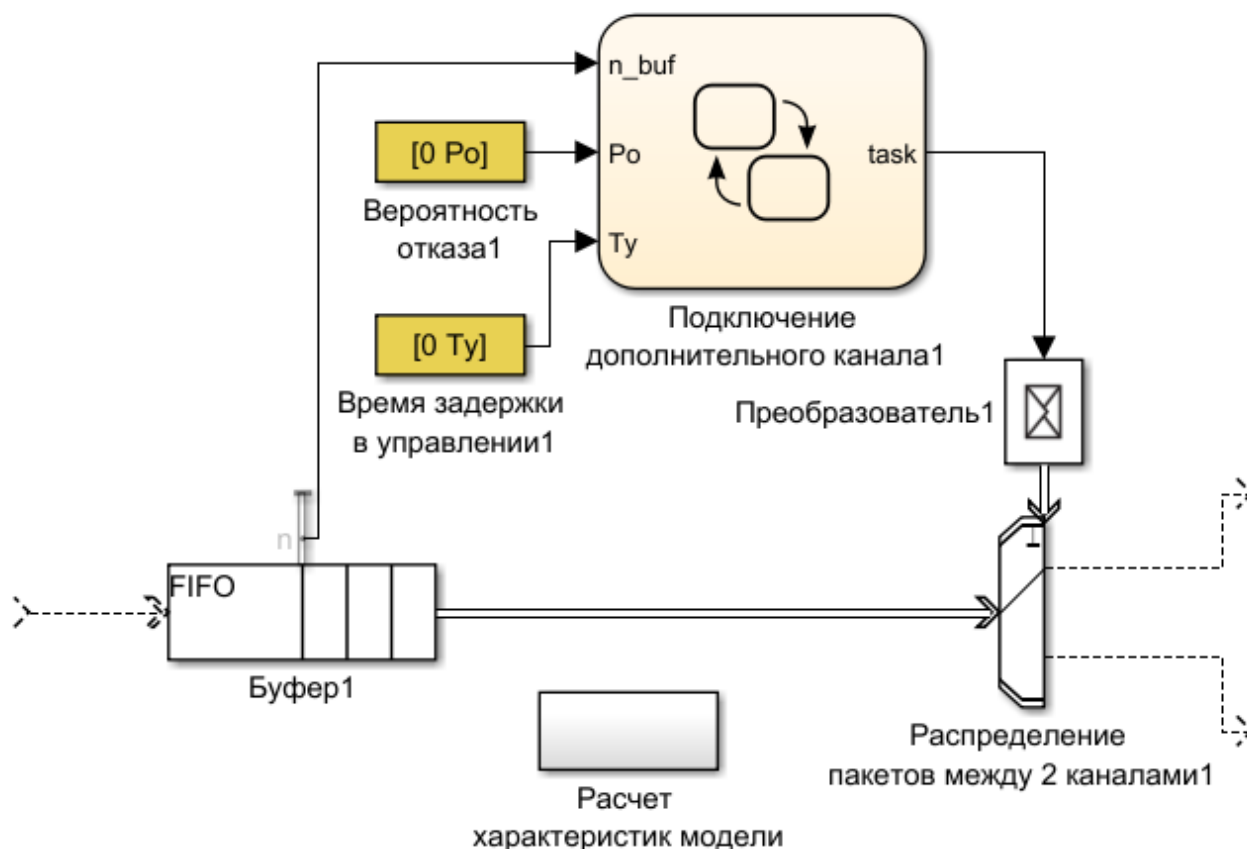


Рис. 5. Реализация переключения периодов активности и паузы

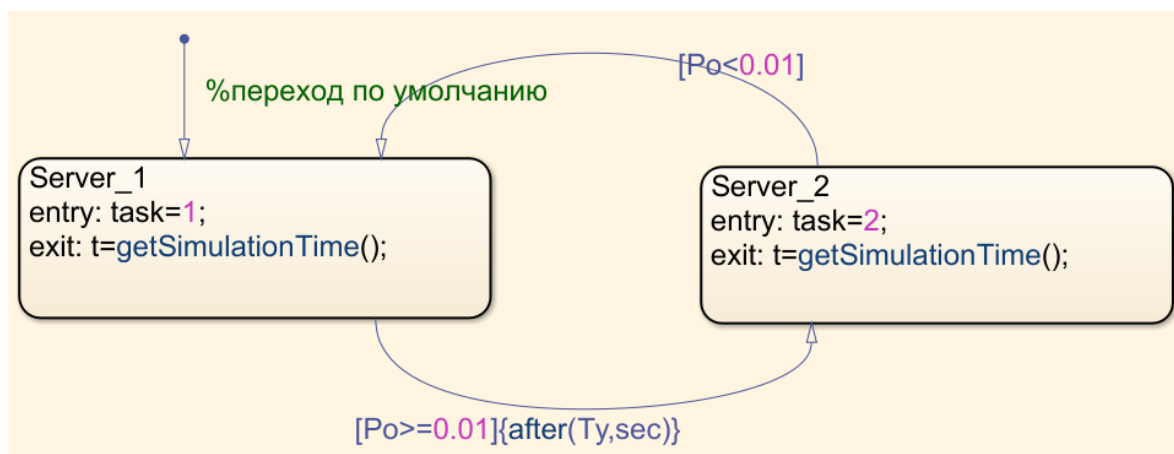


Рис. 6. Реализация переключения периодов активности и паузы

Блок № 3 модели предназначен для переключения между двумя обслуживающими устройствами. Переключение между обслуживающими устройствами происходит после расчета в блоке № 2 допустимой вероятности потери пакетов $P_{отк} \geq 0.01$ и анализа количества пакетов в буфере. Блоки № 4, 5 представляют собой обслуживающие устройства со средним временем обслуживания одного речевого пакета $T_0 = 0.18\text{с}$, при этом данное время является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону. В блоке № 6 происхо-

дит расчет характеристик модели: времени моделирования $T_{\text{мод}}$, вероятности потери пакетов $P_{\text{отк}}$ и подсчет общего числа пакетов $N_{\text{общ}}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АДАПТИВНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СВЯЗИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТРАФИКА С УЧЕТОМ ЗАДЕРЖКИ В УПРАВЛЕНИИ

Отличие имитационной модели от аналитической [1, 2], а также от других имитационных моделей, представленных в работах [7, 8], заключается в том, что оптимальное решение задачи может быть получено для случая, когда емкость буфера $N_{\text{буф}} > 100$. Так как расчет аналитической модели производится путем прямого перебора, для сравнения результатов имитационного и аналитического моделирования будем рассматривать случай, когда емкость буфера $N_{\text{буф}} = 30$.

При моделировании использовались следующие допущения и исходные данные:

- скорость кодирования речи $C_k = 10$ Кбит/с;
- дискретность работы пакетизатора речи $\Delta t_{\text{п}} = 20$ мс;
- средняя длительность активности абонента $T_a = 1,2$ с, соответственно, интенсивность перехода в состояние молчания абонента $\alpha = 1/T_a = 0,83$;
- средняя продолжительность паузы $T_{\text{п}} = 1,8$ с, соответственно, интенсивность перехода в состояние активности абонента $\beta = 1/T_{\text{п}} = 0,56$;
- среднее время распространения радиосигнала от ЗС до КАС и обратно $T_y = 0,25$ с, соответственно, интенсивность удовлетворения запросов на выделение дополнительного ресурса $\gamma = 1/T_y = 4$.

Результаты моделирования представлены на рис. 7.

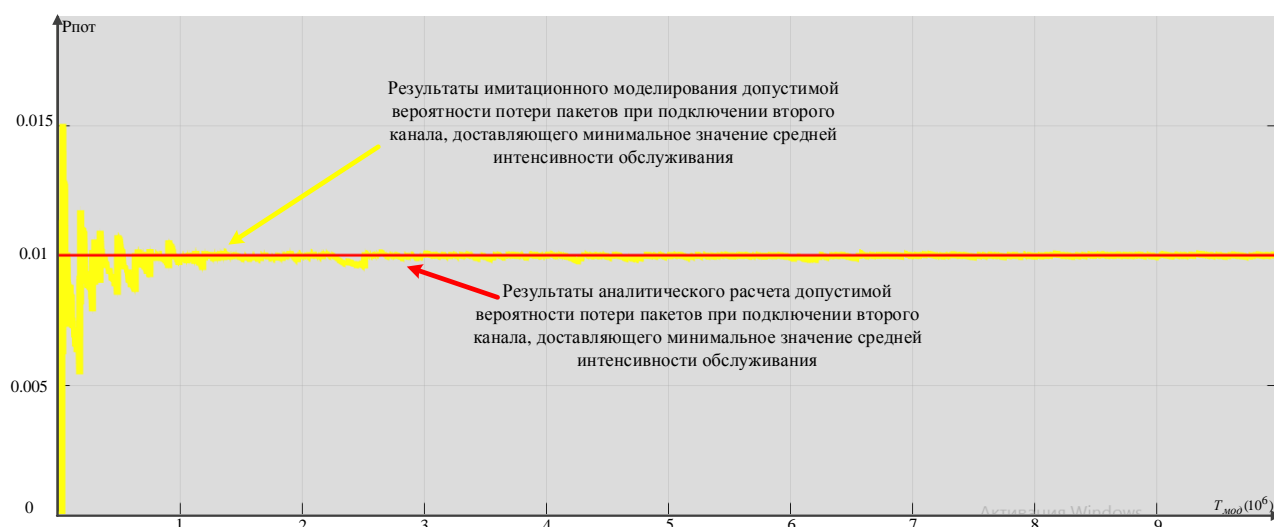


Рис. 7. Управление подключением дополнительного (резервного) канала связи для поддержания требуемого качества обслуживания

На рис. 7 представлено сравнение результатов имитационного и аналитического моделирования. Расчет допустимой вероятности потери пакетов для имитационной модели производился в течение всего времени моделирования $T_{\text{мод}} = 10 \times 10^6$ с, при этом существенное отклонение значения имитационного моделирования от значения $P_{\text{отк}}$ для аналитической модели наблюдается в момент неустойчивого состояния системы $T_{\text{мод}} = 1 \times 10^6$ с, после чего результаты аналитического и имитационного моделирования значительно друг от друга не отличаются.

На рис. 8 представлены результаты загрузки системы для различного количества обслуживающих устройств. В случае, если в системе нет дополнительного обслуживающего устройства, загрузка сервера $\gamma_1 = 1$. В случае подключения дополнительного обслуживающего устройства, при условии обеспечения требуемого уровня потери пакетов и минимальной интенсивности обслуживания, загрузка первого сервера $\gamma_1 \approx 0,7$, загрузка дополнительного сервера $\gamma_2 \approx 0,3$, следовательно, экономия ресурса первого обслуживающего устройства составляет около 40%.



Рис. 8. Загрузка основного и резервного каналов связи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распространение предложенного подхода по адаптивному резервированию ограниченного радиоресурса КАС позволит добиться существенного выигрыша в экономии канального ресурса КАС за счет динамического перераспределения его между радионаправлениями. Следует отметить, что выигрыш будет зависеть от многих факторов, например, таких как требования к качеству обслуживания трафика, времени запроса и выделения канального ресурса и других, поэтому он может варьироваться в пределах от 20 до 60%, что в среднем составляет 40% и согласуется с результатами имитационного моделирования. Анализ вычислительной сложности предложенного алгоритма показал, что одной из проблем, возникающих на пути создания и внедрения технологии адаптивного резервирования радиоресурса КАС, являются применение более производительной элементной базы и повышение объема оперативной памяти при создании каналобразующей аппаратуры ЗССС.

Список используемых источников

1. Кузичкин А.В., Зиннуров С.Х., Ковальский А.А. Динамическое распределение радиоресурса ретранслятора с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Прикладная физика и математика. – 2014. – № 6. – С. 8–14.
2. Кузичкин А.В., Зиннуров С.Х., Ковальский А.А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Инженерная физика. – 2015. – №6. – С. 49–57.
3. Топорков И.С., Ковальский А.А., Зиннуров С.Х. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании мультисервисного нестационарного трафика // Известия Института инженерной физики. – 2016. – Т. 1, № 39. – С. 37–47.
4. Ковальский А.А., Терещенко С.В., Шаповалов А.А. Модели и алгоритмы статистического уплотнения разнородного трафика в земных станциях спутниковой связи // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 654. – С. 34–42.
5. Ковальский А.А. Модели статистического уплотнения и алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика земных станций спутниковой связи в условиях изменяющейся помеховой обстановки // Труды МАИ. – 2016. – № 90. – С. 20.
6. Ковальский А.А. Организация адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 1. – С. 175–212.
7. Ушанев К.В. Имитационная модель формирования трафика сложной структуры // Информационные технологии моделирования и управления. – 2014. – № 3 (87). – С. 263–272.
8. Ушанев К.В. Имитационные модели системы массового обслуживания типа $Ra/M/1$, $H_2/M/1$ и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой // Системы управления, связи и безопасности. – 2015. – № 4. – С. 217–251.

А.А. Ковальский,
кандидат техн. наук;
Г.А. Митряев,
Е.А. Новиков,
доктор техн. наук, доцент

АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОРЕСУРСА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКОЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В статье рассмотрена система спутниковой связи Главного испытательного космического центра, предназначенная для организации устойчивого управления орбитальной группировкой космических аппаратов. Для решения задачи оптимального планирования и оперативного распределения радиоресурса системы спутниковой связи в целях организации устойчивого управления орбитальной группировкой космических аппаратов предложен алгоритм на основе метода локально-оптимального управления и методика с использованием технологии гибких стратегий управления. В заключение сформированы предложения по разработке системы поддержки принятия решений при оперативном распределении радиоресурса системы спутниковой связи.

Ключевые слова: система спутниковой связи, оптимальное планирование сеансов связи, оперативное распределение радиоресурса, технология гибких стратегий.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях эффективность боевого применения войск (сил) в значительной степени определяется функционированием системы боевого управления. В настоящее время основу системы боевого управления Вооруженными силами (ВС) Российской Федерации (РФ) составляет объединенная система связи, эффективность которой зависит от качества обмена информацией между органами управления. Для обеспечения заданного качества в ВС РФ организуют и применяют системы спутниковой связи (ССС).

В работах [1, 2] рассмотрена система спутниковой связи Главного испытательного космического центра (ГИКЦ), а также проведен анализ входящих в ее состав элементов, их задач и используемых технологий связи. Проведено математическое моделирование оптимального планирования сеансов связи (СС) и оперативного распределения радиоресурса СССР. Сформулирована постановка задачи оптимального планирования и оперативного распределения радиоресурса СССР в целях организации устойчивого управления орбитальной группировкой (ОГ) космических аппаратов (КА). В качестве метода для организации оптимального планирования СС и оперативного распределения радиоресурса СССР обоснован и выбран подход на базе принципа максимума Л.С. Понтрягина. В данной статье рассмотрено продолжение исследований, направленных на решение поставленной задачи.

АЛГОРИТМ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОРЕСУРСА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Итерационный процесс последовательного уточнения матрицы P_0 , рассмотренный в работах [1, 2], может производиться с использованием известных методов решения краевых задач и численной оптимизации. В частности, в рассматриваемом случае можно воспользоваться методом Крылова – Черноусько, методом Ньютона и его модификациями, градиентными и

субградиентными методами, например покоординатного спуска, а также методами штрафных функций.

Скорость сходимости процедуры решения краевой задачи в значительной степени зависит от так называемого начального или первого приближения. Хорошим опорным решением, в частности, может служить метод локально-оптимального управления [3, 4], на основе которого построен алгоритм оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС, имеющего вид, представленный на рис. 1.

Алгоритм оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС

$$U_{loc}(t) = \arg \max_{U_{loc} \in U_{\Delta}} H(X^f, X(t), \bar{q}^f, \bar{q}(t), U(t)), \quad (1)$$

синтезируемого на основе условия стационарности заменой матрицы $P(t)$ и вектора $\bar{\beta}(t)$ сопряженных переменных их расчетными аналогами $P^+(t)$ и $\bar{\beta}^+(t)$, полученными за счет модификации условий трансверсальности, при этом $U(t) = \left[\begin{array}{l} u_{\nu\mu\lambda\chi}(t) : u_{\nu\mu\lambda\chi} \in \{0;1\}, \\ \nu = \overline{1,n}, \mu = \overline{1,m}, \lambda = \overline{1,l}, \chi = \overline{1,k} \end{array} \right]$ –

$n \times m \times l \times k$ -мерная матрица управляющих параметров.

Подставляя полученные модифицированные условия трансверсальности в соотношение (1), получим уточненный вид алгоритма оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС:

$$\begin{aligned} U_{loc}(t) &= \arg \max_{U_{loc} \in U_{\Delta}} H(X^f, X(t), P^+(t), \bar{q}^f, \bar{q}(t), \bar{\beta}^+(t), U(t)) = \\ &= \arg \max_{U_{loc} \in U_{\Delta}} (P^+(t) \otimes (B_X(t) \circ U_X(t)) + \bar{\beta}^+(t) \otimes (B_q(t) \bullet U_q(t))). \end{aligned} \quad (2)$$

Полученная стратегия локальной оптимизации для планирования комплекса сеансов связи (КСС), в отличие от программного планирования, формирует управление в форме обратной связи, что позволяет построить систему автоматического управления выполнением КСС для всех элементов ССС. В рассматриваемой задаче алгоритм управления в форме обратной связи позволяет оперативно корректировать управление КСС в темпе обслуживания наземных комплексов управления (НКУ), тем самым обеспечивается гибкость применяемой стратегии управления.

Планирование сеансов связи ССС по технологии гибких стратегий (ТГС) осуществляется в четыре этапа [5, 6].

1. Ввод исходных данных о задействовании ССС.
2. Формирование массивов входной информации о задействовании ССС.
3. Реализация алгоритма оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС.
4. Фиксация результатов планирования.

Перечислим исходные данные для начала вычислительного процесса по реализации гибкой стратегии управления КСС элементов ССС.

1. Количество n КАС, обладающих частотным ресурсом включенных в состав ОГ КАС ССС.

2. Количество m земных станций спутниковой связи (ЗССС), размещенных на территориально разнесенных отдельных объектах.

3. Количество l НКУ КА, которым необходимо обеспечить передачу информационных потоков с требуемой пропускной способностью по каналам спутниковой связи, организуемых в ходе выполнения сеанса связи.

4. Количество k сеансов связи, включенных в состав КСС, необходимых для выполнения НКУ КА задач по предназначению.

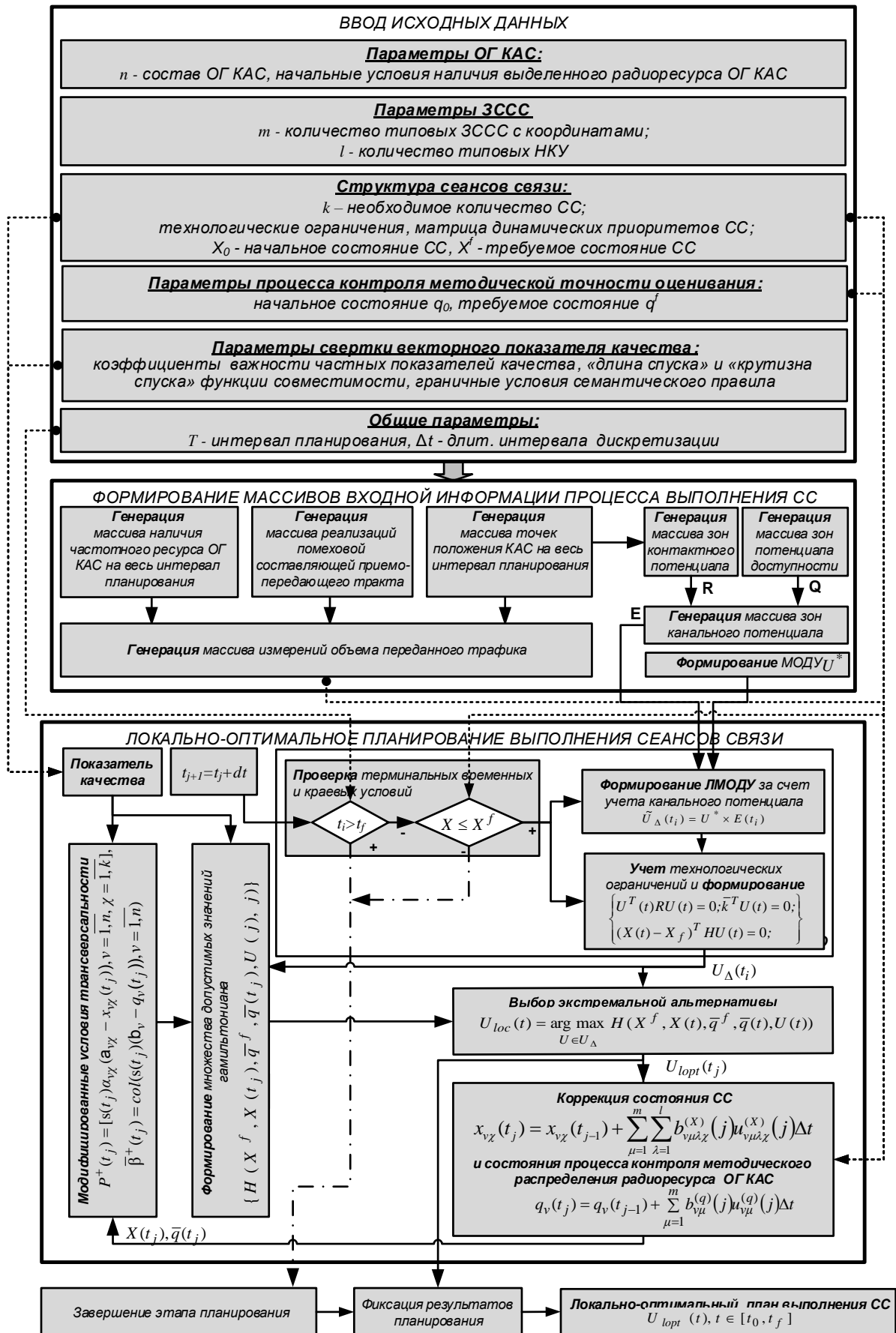


Рис. 1. Алгоритм оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС

5. Интервал планирования $T = [t_o, t_f]$, длительность интервала дискретизации Δt , а также интенсивность выполнения СС из КСС.

6. Краевые условия $X = [X_o, X^f]$ и $Q = [\bar{q}_o, \bar{q}^f]$, где $X(t_o) = X_o \in X$, $\bar{q}(t_o) = \bar{q}_o \in Q$, $X(t_f) \in X$, $\bar{q}(t_f) \in Q$.

7. Матрица Λ динамических приоритетов СС.

8. Совокупность зон контактного R , канального E и потенциала доступности Q .

9. Сформированная по алгоритму модифицированную область U^* допустимых альтернатив управления.

Этап применения оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС на основе модифицированного формализма принципа максимума предполагает дискретизацию по времени, непрерывного процесса управления КСС. В рассматриваемом случае, используя

дискретизацию с шагом Δt , получим $T = \left\lfloor \frac{t_f - t_o}{\Delta t} \right\rfloor + 1$ временных дискретов $dt_j, j = \overline{1, T}$. В

результате этого процесс решения задачи трансформируется в многошаговый процесс, включающий в себя следующую последовательность действий.

1. Проверка интегральных временных условий (ограничений) $t_j \leq t_f$.

2. Проверка краевых условий $x_{\lambda\chi}(t_j) \leq x_{\lambda\chi}^f, \lambda = \overline{1, l}, \chi = \overline{1, k}$.

3. Пересчет значений компонент вектора сопряженных переменных в соответствии с модифицированным условием трансверсальности с учетом соотношения, определяющего вид показателя качества, характеризующего смысл полноты выполнения запланированных СС от желаемых при условии неравнозначности входящих в него операций ($\Lambda = [\alpha_{\lambda\chi}, \lambda = \overline{1, l}, \chi = \overline{1, k}]$ – $l \times k$ – мерная положительно-определённая матрица относительных коэффициентов важности выполнения соответствующих СС).

4. Локальное (на конкретном временном дискрете) сужение модифицированной области допустимых альтернатив управления U^* с учетом канального потенциала $\tilde{U}(j) = U^* \times E(j)$.

5. Формирование области допустимых вариантов выполнения (ОДВВ) $U_\Delta(j)$ за счет сужения локальной модифицированной области допустимых альтернатив управления $\tilde{U}(j)$ с учетом технологических и краевых ограничений $U_\Delta(j) = \tilde{U}(j) \times F(\bar{x}(t_j), U(j), t_j) \times K(\bar{x}, T)$.

6. Формирование множества значений функции Гамильтона для всех допустимых вариантов управления

$$U_{loc}(t) = \arg \max_{U_{loc} \in U_\Delta} (P^+(t) \otimes (B_X(t) \circ U_X(t)) + \bar{\beta}^+(t) \otimes (B_q(t) \bullet U_q(t))).$$

7. Выбор экстремальной альтернативы управления (доставляющей максимум функции Гамильтона) $U_{lopt}(j) = \arg \max_{U(j) \in U_\Delta(j)} H(j)$.

8. Пересчет состояний КСС:

$$x_{\lambda\chi}(t_j) = x_{\lambda\chi}(t_{j-1}) + \sum_{v=1}^n \sum_{\mu=1}^m b_{v\mu\lambda\chi}(j) u_{v\mu\lambda\chi}(j) dt, \lambda = \overline{1, l}, \chi = \overline{1, k},$$

где $u_{v\mu\lambda\chi}(j)$ – соответствующие компоненты матрицы $U_{loc}(j)$ управляющих параметров, выбранных в качестве оптимальной альтернативы на j -м временном дискрете.

9. Переход к следующему дискрету времени.

При выполнении возможно возникновение ситуации неединственности (неоднозначности) альтернативы, доставляющей максимальное значение функции Гамильтона (неоднозначность максимума гамильтониана). Такие альтернативы могут быть названы максимизирующими альтернативами. Для разрешения проблемы неоднозначности могут быть применены различные дисциплины дополнительного установления приоритетности альтернатив. Например, дисциплина приоритетности той альтернативы, которая уже была выбрана на предыдущем временном дискрете. Предлагается в дальнейшем руководствоваться второй из перечисленных дисциплин дополнительной приоритетности оптимальных альтернатив.

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОРЕСУРСА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИБКИХ СТРАТЕГИЙ

Сформирование плана задействования ССС, позволяющей обеспечить достижение требований по оперативности и пропускной способности сложный и достаточно трудоемкий процесс, требующий последовательного выполнения ряда вспомогательных операций (действий), образующих методику управления по ТГС (рис. 2). Разработанная методика предполагает, что исходными данными, а именно составляющими компонентами комплексной заявки, будут обоснованные с позиций реальных возможностей ССС требования по пропускной способности и оперативности. В этой связи реализации данной методики предполагает проведения несколько этапов.

Этап 1. Прием комплексной заявки, формируемой центром управления системой и включающей в себя:

- перечень ЗССС, содержащий координаты позиционных районов, а также совокупность временных интервалов необходимости проведения СС;
- требования по пропускной способности;
- перечень, а также вектор относительных приоритетов СС из КСС.

Этап 2. Проведение анализа состояния элементов ОГ КАС и ЗССС, а также текущего состояния КСС для организации функционирования ССС в условиях сложной помеховой обстановки.

Этап 3. Формирование временных интервалов потенциала доступности. Для этого проводится анализ состояния элементов ССС, который позволяет сформировать перечень работоспособных КАС из ОГ ССС, а также ЗССС.

Этап 4. Выполнение алгоритма расчета зон радиовидимости (контактного потенциала R).

Этап 5. Выполнение алгоритма численного интегрирования системы дифференциальных уравнений орбитального движения КАС в нецентральной поле Земли.

Этап 6. Полученные совокупности временных интервалов контактного потенциала R и потенциала доступности Q позволяют сформировать совокупность временных интервалов канального потенциала $R \times Q \times D \rightarrow E$.

Этап 7. Полученные на этапе 1 требования по пропускной способности ССС позволяют, будучи использованы как исходные данные, осуществить выполнение алгоритма прогноза распределения частотного ресурса ССС.

Этап 8. Результаты, полученные при выполнении этапов 2, 6 и 7 позволяют произвести оценку возможностей ССС по обеспечению требуемого уровня пропускной способности.

Следующие два этапа (этап 9 и этап 10) выполняются параллельно.

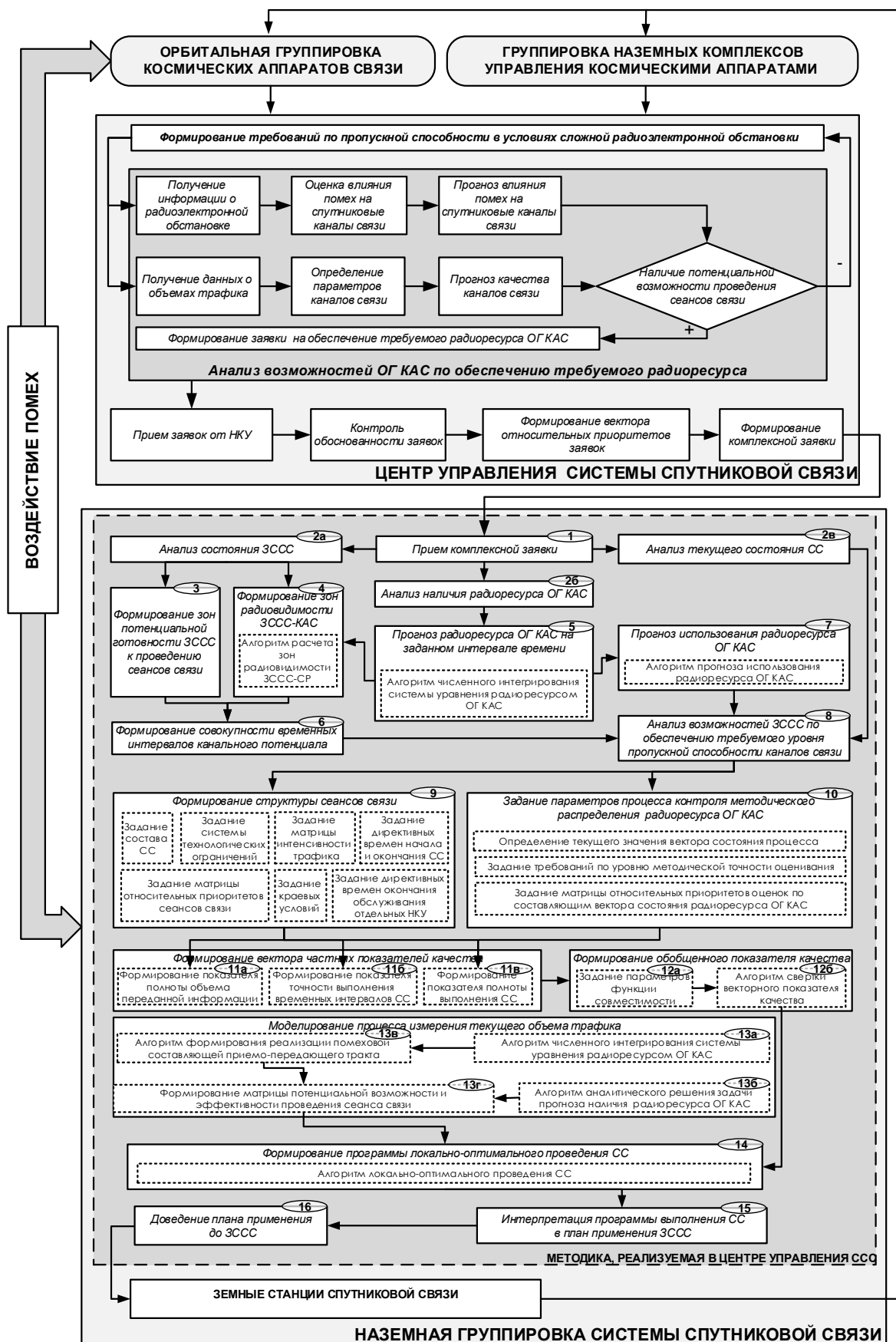


Рис. 2. Методика оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС на основе технологии гибких стратегий

Этап 9. Формирование структуры проведения КСС включает в себя:

- задание множества $A = \{A_v, v = \overline{1, n}\}$ КАС, включенных в состав ОГ КАС, множества $B = \{B_\mu, \mu = \overline{1, m}\}$ территориально-разнесенных ЗССС с привязанными к ним множеством $C = \{C_\lambda, \lambda = \overline{1, l}\}$ НКУ, для которых ЗССС обеспечивают множество $D = \{O_\chi, \chi = \overline{1, k}\}$ СС, включенных в КСС $K_{TC} = \{K_v : D \times D \times \dots \times D \rightarrow K_\lambda, \lambda = \overline{1, l}\}$;
- задание комплекса $F(X, U, T) = 0$ технологических ограничений;
- задание комплекса $\psi(U) \leq 0$ технических ограничений;
- задание матрицы $\Omega = [\omega_{v\chi}, v = \overline{1, n}, \chi = \overline{1, k}]$ интенсивности выполнения СС;
- задание матрицы $\Lambda = [\alpha_{\lambda\chi}, \lambda = \overline{1, l}, \chi = \overline{1, k}]$ относительных приоритетов выполнения СС;
- задание краевых условий накладываемых на процесс выполнения КСС – $X = [X_0, X_f^3]$, где $X(t_0) = X_0 \in X$, $X(t_f) \in X$.

Этап 10. Задание параметров процесса контроля методической точности оценивания распределения радиоресурса ОГ КАС.

Этап 11. Формирование показателя качества $J = \sum_{\lambda=1}^l \sum_{\chi=1}^k \alpha_{\lambda\chi} (x_{\lambda\chi}^{(f)} - x_{\lambda\chi}(t_f))^2$, который от-

ражает требование полноты объема КСС, где $x_{\lambda\chi}(t_f)$ и $x_{\lambda\chi}^{(f)}$ – финальное и требуемое состояния КСС.

Этап 12. Формирование обобщенного показателя качества. Анализ особенностей процесса принятия решения в экстремальных условиях показал целесообразность перехода к задаче однокритериальной оптимизации, технология решения которой с использованием стандартных методов и процедур в рассматриваемых условиях отличается существенно большим конструктивизмом.

Этап 13. Проведение моделирования процесса измерения текущих объема трафика, включает в себя выполнение алгоритмов численного и аналитического решения задачи прогноза информационная нагрузки на радиоресурс КАС.

Этап 14. Этап формирования программы оперативного планирования и распределения радиоресурса ССС.

Этап 15. Проведение программы выполнения КСС, которая интерпретируется в план применения ССС.

Этап 16. Доведение плана применения до каждой ЗССС, входящей в состав ССС.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ РАДИОРЕСУРСА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Оперативное планирование и распределение радиоресурса ССС в штатных условиях с применением «ручной» технологии, основанной на эвристических решениях по формированию вариантов выполнения плана задействования, как правило, позволяет осуществить выбор решения достаточно близкого к оптимальному. Однако, при переводе в высшие степени боевой готовности, а также при усложнении радиоэлектронной обстановке, характеризующихся дефицитом временного, технического и других видов ресурсов, данная технология зачастую не позволяет оперативно строить область допустимых вариантов планирования, осуществлять выбор оптимального решения удовлетворяющего заданной системе ограничений. Жесткие временные ограничения и динамичность изменения обстановки в совокупности с воздействи-

ем помех, оказывают ощутимое влияние на процесс управления ССС номерами дежурных расчетов. В таких условиях желательно максимально повысить уровень автоматизации управления ССС, что позволит с минимальным задействованием человеческого фактора генерировать возможные альтернативы выполнения КСС, проводить их сравнительную оценку и выбирать из них лучшую. Решение подобных задач в сложных военно-технических системах, к которым относится ССС, рекомендуется проводить на основе многоструктурного подхода [7-13].

Данный подход наиболее полно может быть реализован на основе так называемых имитационных систем (ИС), отличительным признаком которых является глубокая интеграция имитационных и аналитических подходов, основанных на всестороннем использовании различных возможностей математики, ЭВМ и творческого мышления человека. Применение ИС при формировании варианта плана задействования ССС позволяет осуществлять анализ и прогнозирование процесса подготовки, выбирать рациональные способы парирования воздействия различных факторов возмущения, что в конечном итоге положительно сказывается на результате решаемой задачи.

Однако создание моделей имитационного уровня является достаточно сложным процессом, а их использование предполагает обязательное проведение экспериментов, которые требуют больших затрат машинного времени. В реальных условиях обслуживания элементов ССС изменение обстановки происходит с высокой динамичностью, требующей оперативного отклика при принятии решений по формированию варианта выполнения плана задействования. В результате использование ИС в решаемой задаче может оказаться неэффективным и даже нецелесообразным.

В данном случае целесообразным вариантом является применение средств, реализующих формализованные схемы действий номеров дежурного расчета центра управления ССС на исследуемом этапе, позволяющих оперативно генерировать альтернативные варианты выполнения КСС и получать количественные оценки качества обслуживания НКУ. Этот подход наиболее полно реализуется в рамках системы поддержки принятия решений (СППР), реализуемой в контуре управления ССС и представляющей собой человеко-машинную систему, объединяющую совокупность программных и технических средств, ориентированных на оказание помощи дежурному расчету центра управления ССС в процессе управления за счет использования математических моделей выработки решений, средств эффективного доступа к базам данных и средств наглядного отображения информации.

К настоящему времени выделяют три подхода при создании СППР: системный, когнитивный и функциональный. Системный подход основан на исследовании среды, в которой должна функционировать СППР: элементов, с которыми СППР должна взаимодействовать, источников информации, соответствующих отношений взаимодействующих компонентов. В основе когнитивного или познавательного подхода лежит анализ содержания и типов проблемных ситуаций, в условиях которых осуществляется принятие решения. Функциональный подход основан на анализе инструментальных средств, блоков, подсистем, технологий принятия решений. При создании СППР оперативного планирования и оптимального распределения ресурса предлагается применить наиболее перспективный вариант – комбинационный подход, обладающий преимуществами трех вышеперечисленных подходов. Данный вариант позволит наиболее эффективно сформировать архитектуру СППР оперативного обслуживания НКУ, обладающую рациональным составом программных модулей и схемой их взаимодействия. В соответствии с принятым подходом создания СППР необходимо определить:

- место СППР в контуре управления системой;
- характер проблемной ситуации, применительно к которой СППР разрабатывается;
- информацию, доступную СППР;
- источники поступления информации;
- информацию, генерируемую СППР.

В соответствии с этим определяется необходимый состав привлекаемых программных модулей. Место и роль СППР в контуре управления системой определяются ее назначением,

связанным с проведением СС для обеспечения работы НКУ. Проектируемой СППР должна быть доступна вся имеющаяся в центре управления ССС информация о состоянии ССС, поступающая как непосредственно с ЗССС, так и от вышестоящих органов. Для конкретизации привлекаемого состава программных модулей и их взаимосвязи следует описать технологический график действий номеров дежурного расчета центра управления ССС, при оперативном планировании и оптимальном распределении ресурса. Далее осуществляется сопоставление технологических операций, выполняемых номерами дежурного расчета центра управления ССС, с программными модулями, позволяющими автоматизировать данные технологические операции. При этом для повышения гибкости в настройке СППР на конкретную предметную область и обеспечения снижения затрат на ее создание и модернизацию целесообразно при выборе привлекаемых программных модулей ориентироваться на банк унифицированных проблемно-ориентированных модулей, находящийся в базе программного обеспечения центра управления ССС. Данные унифицированные проблемно-ориентированные модули представляют собой аналитические модели и алгоритмы, базы знаний и данных. Такой подход позволяет с наименьшим расходом временных и материальных ресурсов строить разнообразные по целевому назначению СППР.

Список используемых источников

1. Жуков С.Е., Ковальский А.А., Квасов М.Н., Митряев Г.А. Оперативное распределение радиоресурса системы спутниковой связи в целях обеспечения управления космическими аппаратами // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2017. – № 2. – С. 29–36.
2. Зиннуров С.Х., Ковальский А.А., Митряев Г.А. Решение задачи оптимального планирования для сеансов управления орбитальной группировкой космических аппаратов // Труды учебных заведений связи. – 2018. – Т. 4, № 1. – С. 67–74.
3. Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А. Метод и алгоритм оперативного планирования работы наземных средств на основе принципа гибких стратегий // Сборник алгоритмов и программ типовых задач. – СПб.: МО РФ, 2005. – Вып. 23. – С. 3–17.
4. Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А. Алгоритм локально-оптимального управления комплексом операций обслуживания однотипных объектов // Сборник алгоритмов и программ типовых задач. СПб.: МО РФ, 2004. – Вып. 22. – С. 3–17.
5. Новиков Е.А. Гибкие технологические стратегии управления целевым применением космической навигационной системы / под. общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб. ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 175 с.
6. Мануйлов Ю.С., Птушкин А.И., Стародубов В.А. Методологические основы применения гибких стратегий управления космическими аппаратами. СПб: МО РФ, 2002. 102 с.
7. Мануйлов Ю.С. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник / Ю.С. Мануйлов, В.Н. Калинин, В.С. Гончаревский и др.; под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 609 с.
8. Мануйлов Ю.С. Системный анализ и организация автоматизированного управления космическими аппаратами: учебник / Ю.С. Мануйлов, А.Н. Павлов, Е.А. Новиков и др.; под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 266 с.
9. Калинин В.Н., Резников Б. А. Теория систем и управления. – Л.: МО СССР, 1978. – 417 с.
10. Калинин В.Н. Теоретические основы управления подвижными объектами и операциями их обслуживания. – Л.: МО СССР, 1989. – 224 с.
11. Соколов Б.В. Комплексное планирование операций и управление структурами в АСУ активными подвижными объектами. – Л.: МО РФ, 1992. – 231с.
12. Делий И.И. и др. Основы технологии управления КА и средствами наземного комплекса. – Л.: МО СССР, 1987.
13. Резников Б.А., Делий И. И. Математическое обеспечение управления подвижными объектами. – Л.: МО СССР, 1986.

В.Ф. Пименов,
кандидат техн. наук;
А.С. Попов,
доктор техн. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ ПОМЕХ В ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКЕ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ

В статье приведены результаты вычислительного эксперимента по исследованию характеристик оптимальной пространственной селекции некоррелированных помех в линейной эквидистантной антенной решетке (АР) с критерием минимума среднеквадратического отклонения (МСКО) выходного сигнала от эталонного в спутниковых каналах связи, навигационных и радиолокационных системах.

Ключевые слова: адаптивные антенные решетки, преднамеренные радиопомехи, помехоустойчивость, коэффициент подавления помех, вектор весовых коэффициентов антенной решетки.

ВВЕДЕНИЕ

Адаптивные антенные решетки (ААР) Уидроу [1], осуществляющие оптимальную пространственную селекцию помех по критерию минимума среднеквадратического отклонения (МСКО) выходного сигнала от эталонного [1–3] находят широкое применение в спутниковых каналах связи, навигационных [4] и радиолокационных [5] системах. Библиография работ по теории и практическому применению таких ААР достаточно обширна. Однако ряд важных вопросов при исследовании эффективности ААР при различных реально возможных вариантах сигнально-помеховой обстановки не получили в достаточной степени обоснованных ответов в доступной научно-технической литературе. К таким вопросам, в частности, относится влияние нескольких помех на степень подавления помех, а также на уровень полезного сигнала на выходе ААР при задаваемых угловых и энергетических различиях сигнала и преднамеренных помех.

Решение задачи при получении ответов на эти вопросы в теоретическом плане связано с чрезвычайно громоздкими вычислениями, но достаточно доступны при вычислительном эксперименте на основе компьютерного моделирования. Основным требованием при этом является обоснованный выбор моделей сигнала и преднамеренных помех, сложность которых не должна быть выше возможностей пространственной селекции как линейной процедуры.

Для проведения вычислительного эксперимента была разработана и отлажена компьютерная программа на базе пакета Matlab, составлена и реализована программа исследований, результаты которых приведены в данной статье.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Модели сигнала и помех. Поскольку операция оптимального взвешенного суммирования сигнала и помех с выходов элементов АР является линейной, то достаточно выбрать модели сигнала и помех в рамках корреляционной теории. В качестве такой модели, как известно, можно принять квазиузкополосный случайный процесс $\xi(t)$ на несущем колебании частоты ω_0 со случайными амплитудой $A(t)$ и фазой $\varphi(t)$ как естественную модель радиосигнала $\varphi(t)$ [6]

$$\xi(t) = A_c(t) \cos \omega_0 t - A_s(t) \sin \omega_0 t = A(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t)),$$

где $A_c(t)$, $A_s(t)$ – случайные квадратурные составляющие сигнала, при этом

$$A_c(t) = A(t) \cos \varphi(t); \quad A_s(t) = A(t) \sin \varphi(t).$$

Формула радиосигнала может быть представлена также в следующем виде:

$$\xi(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) = \operatorname{Re}\{A(t)e^{-i[\omega_0 t + \varphi(t)]}\} = \operatorname{Re}\{[A(t)e^{-i\varphi(t)}]e^{i\omega_0 t}\}.$$

При известном значении частоты несущего колебания вся информация о сигнале содержится в комплексной амплитуде аналитического (комплексного) сигнала [6]. Введем обозначения:

$$z(t) = x(t) + iy(t) = A(t)e^{i\varphi(t)}; \quad x(t) = A(t) \cos \varphi(t), \quad y(t) = -A(t) \sin \varphi(t).$$

Комплексные составляющие $x(t)$ и $y(t)$ являются совместно гауссовскими стационарными и стационарно связанными случайными процессами [7, 9] с одинаковыми значениями дисперсий (мощностей).

Для различения моделей полезного сигнала, первой и второй помехи используем индексы вида с, п1, п2 в выражениях:

$$z_c(t) = x_c(t) + iy_c(t); \quad z_{п1}(t) = x_{п1}(t) + iy_{п1}(t); \quad z_{п2}(t) = x_{п2}(t) + iy_{п2}(t).$$

Все комплексные составляющие сигнала и помех также примем совместно гауссовскими стационарными и стационарно связанными случайными процессами. В силу квазиузкополосности сигнала и помех принимаем взаимную некоррелированность их составляющих в совпадающие моменты времени [8].

Модель сигнально-помеховой обстановки. Рассмотрим линейную эквидистантную АР, состоящую из L всенаправленных приемных элементов с расстоянием $d = \lambda/2$ между ними. На вход АР поступают квазиузкополосные сигнал и одна, две или три помехи на совпадающих частотах несущих колебаний, воздействующих с различных направлений. Мощности сигнала и помех, соответственно, равны P_c , $P_{п1}$, $P_{п2}$, $P_{п3}$. Углы прихода сигнала и помех относительно перпендикуляра к линии расположения элементов АР равны θ_c , $\theta_{п1}$, $\theta_{п2}$, $\theta_{п3}$ соответственно.

На выходах элементов АР имеем отклики сигнала, помех и собственных шумов элементов АР. Мощности собственного шума в каждом элементе АР одинаковы и равны $P_{ш}$. Для удобства вычислений уровни сигнала, помех и шума на выходе одного элемента АР будем выражать в относительных единицах, а именно

$$q_c = P_c/P_{ш}; \quad q_{п1} = P_{п1}/P_{ш}; \quad q_{п2} = \frac{P_{п2}}{P_{ш}}; \quad q_{ш} = P_{ш}/P_{ш} = 1.$$

Как известно, сигнально-помеховая обстановка на выходе элементов АР полностью определяется корреляционной матрицей вектора откликов с выходов элементов АР.

Оптимальная пространственная селекция помех в рассматриваемой адаптивной антенной решетке осуществляется по критерию минимума среднеквадратического отклонения выходного сигнала от эталонного [1]. Согласно данному критерию вычисляется оптимальный вектор весовых коэффициентов (ВБК) \mathbf{w}_{opt} (рис. 1).

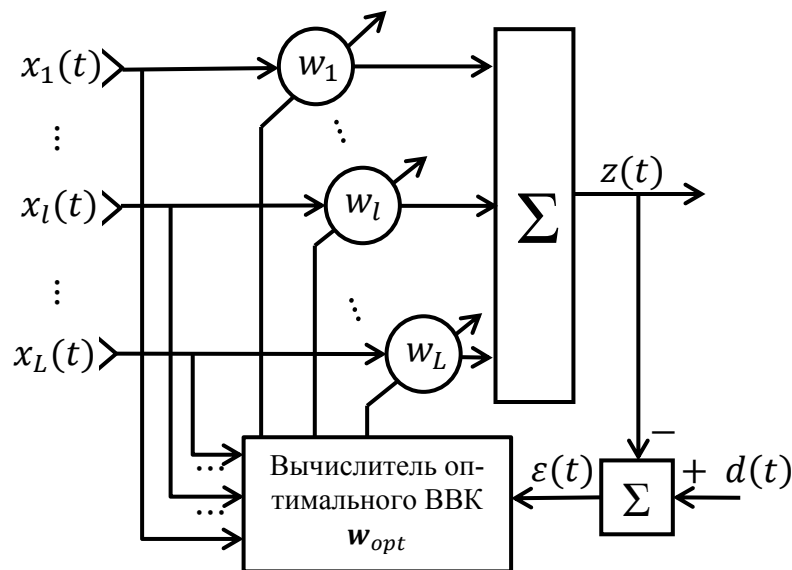


Рис. 1. Структурная схема антенной решетки с адаптацией по критерию МСКО

Вид диаграммы направленности ААР для полученного ВВК \mathbf{w}_{opt} вычисляется по формуле

$$f(\theta) = \mathbf{w}_{opt}^+ \mathbf{h}(\theta).$$

Здесь \mathbf{w}_{opt} – оптимальное по критерию МСКО значение вектора весовых коэффициентов антенной решетки $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_L)^T$, где $(\dots)^T$ – знак операции транспонирования;

$\mathbf{h}(\theta)$ – фазор АР;

$(\dots)^+$ – знак эрмитова сопряжения.

Фазор АР учитывает набег фазы $\varphi(\theta) = \frac{2\pi d}{\lambda} \cdot \sin \theta$ в каждом элементе антенной решетки и рассчитывается по формуле

$$\mathbf{h}(\theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\varphi(\theta)} \\ \dots \\ e^{-j(L-1)\varphi(\theta)} \end{bmatrix}.$$

Для вычисления оптимальных весовых коэффициентов \mathbf{w}_{opt} ААР дополнительно примем следующие обозначения: $1, \dots, 2, \dots, l, \dots, L$ – номера антенных элементов АР; θ_c, θ_{π} – углы прихода сигнала и помехи соответственно; $d = \lambda/2$ – расстояние между соседними элементами АР; λ – длина волны несущего колебания; φ_c и φ_{π} – фазовые набег сигнала и помехи соответственно в $(l+1)$ -м элементе АР относительно l -го элемента.

Для математического описания фазовых набегов сигнала и помехи справедливы соотношения:

$$\varphi_c = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta_c; \quad \varphi_{\pi} = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \theta_{\pi}.$$

Для удобства вывода формул примем, что относительные амплитуды напряжения сигнала, помехи и шума можно представить в виде соответственно $s_c \sqrt{q_c}$, $s_{\pi 1} \sqrt{q_{\pi 1}}$, $s_{\pi 2} \sqrt{q_{\pi 2}}$, $s_{\pi 3} \sqrt{q_{\pi 3}}$, причем справедливо соотношение $\langle s_c^2 \rangle = \langle s_{\pi 1}^2 \rangle = \langle s_{\pi 2}^2 \rangle = \langle s_{\pi 3}^2 \rangle = 1$, где $\langle \dots \rangle$ – знак статического усреднения.

Введем следующие обозначения фазоров сигнала \mathbf{h}_c и помех $\mathbf{h}_{\pi 1}, \mathbf{h}_{\pi 2}, \mathbf{h}_{\pi 3}$ [10]:

$$\mathbf{h}_c = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\varphi_c} \\ \dots \\ e^{-jl\varphi_c} \\ \dots \\ e^{-j(L-1)\varphi_c} \end{bmatrix}; \mathbf{h}_{п1} = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\varphi_{п1}} \\ \dots \\ e^{-jl\varphi_{п1}} \\ \dots \\ e^{-j(L-1)\varphi_{п1}} \end{bmatrix}; \mathbf{h}_{п2} = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\varphi_{п2}} \\ \dots \\ e^{-jl\varphi_{п2}} \\ \dots \\ e^{-j(L-1)\varphi_{п2}} \end{bmatrix}; \mathbf{h}_{п3} = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\varphi_{п3}} \\ \dots \\ e^{-jl\varphi_{п3}} \\ \dots \\ e^{-j(L-1)\varphi_{п3}} \end{bmatrix}.$$

Фазором перпендикуляра к линии расположения элементов АР, при котором угол $\theta = 0$, является вектор из единиц: $\mathbf{1} = (1, 1, \dots, 1)^T$.

Обозначим $\mathbf{R}_z = \langle \mathbf{z}\mathbf{z}^+ \rangle$ – автокорреляционную матрицу вектора входной смеси сигнала и помех $\mathbf{z} = \mathbf{z}_c + \mathbf{z}_{п1} + \mathbf{z}_{п2} + \mathbf{z}_{п3} + \mathbf{z}_{ш}$.

С учетом принятых обозначений и допущений, а также при взаимной некоррелированности сигнала и помех матрица \mathbf{R}_z находится по формуле

$$\mathbf{R}_z = q_c \mathbf{h}_c \mathbf{h}_c^+ + \mathbf{M} = q_c \mathbf{h}_c \mathbf{h}_c^+ + q_{п1} \mathbf{h}_{п1} \mathbf{h}_{п1}^+ + q_{п2} \mathbf{h}_{п2} \mathbf{h}_{п2}^+ + q_{п3} \mathbf{h}_{п3} \mathbf{h}_{п3}^+ + \mathbf{I},$$

где \mathbf{I} – матрица с единицами по главной диагонали.

Из последней формулы следует, что автокорреляционная матрица суммарных помех на выходах элементов АР описывается выражением

$$\mathbf{M} = q_{п1} \mathbf{h}_{п1} \mathbf{h}_{п1}^+ + q_{п2} \mathbf{h}_{п2} \mathbf{h}_{п2}^+ + q_{п3} \mathbf{h}_{п3} \mathbf{h}_{п3}^+ + \mathbf{I}.$$

Матрица эталона. Обозначим $d(t)$ – эталон (образец, копию) принимаемого полезного сигнала. При условии идентичности сигнала и эталона, т. е. $s(t) = d(t)$ [2], вектор эталона находится по формуле

$$\mathbf{R}_z = q_c \mathbf{h}_c.$$

Если же предусмотреть возможность управления уровнем эталонного сигнала, то можно принять $d(t) = Ks(t)$, где K – коэффициент, учитывающий различие уровней входного и эталонного сигналов. Тогда вектор эталона находится по формуле

$$\mathbf{R}_{zd} = K q_c \mathbf{h}_c.$$

Вычисление ВВК, оптимального по критерию МСКО. Значение оптимального ВВК определяется выражением [1–3]

$$\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{R}_{zd}^{-1} \mathbf{R}_z \mathbf{d}.$$

Вычисление в компьютерной программе уровней принимаемых излучений и сигналов на выходе ААР.

Уровень сигнала на входе ААР – $q_{c\text{ вх}} = q_c$.

Уровень сигнала на выходе ААР – $q_{c\text{ вых}} = \mathbf{w}_{opt}^+ \mathbf{R}_c \mathbf{w}_{opt}$.

Суммарный уровень помех на входе ААР – $q_{п\text{ вх}} = q_{п1} + q_{п2} + q_{ш} = q_{п1} + q_{п2} + 1$.

Суммарный уровень помех на выходе ААР – $q_{п\text{ вых}} = \mathbf{w}_{opt}^+ \mathbf{M} \mathbf{w}_{opt}$.

Диаграмма направленности ААР – $f(\theta) = \mathbf{w}_{opt}^+ \mathbf{h}(\theta)$.

Используемые показатели эффективности ААР.

$K_c = q_{c\text{ вых}}/q_{c\text{ вх}}$ – отношение уровней сигналов на выходе и входе ААР.

$K_{п} = q_{п\text{ вых}}/q_{п}$ – отношение суммарных уровней помех на выходе и входе ААР.

$K_{(c/п)\text{ вых}} = q_{c\text{ вых}}/q_{п\text{ вых}}$ – отношение уровней сигнала и суммарных помех на выходе ААР с оптимизированным ВВК.

$K_{(с/п)вых/вх} = \frac{q_{с\text{ вых}}/q_{п\text{ вых}}}{q_{с\text{ вх}}/q_{п\text{ вх}}}$ – относительное изменение отношений уровней сигнала и суммарных помех на выходе и входе ААР, иначе – коэффициент подавления помех на выходе ААР с оптимизированным ВВК.

Программа исследований.

Исследовать:

- 1) $K_c = q_{с\text{ вых}}/q_{с\text{ вх}}$ и $K_{с\text{ норм}} = K_c/K_{с\text{ макс}}$ при одной и двух помехах с разными уровнями и разными углами прихода относительно направления прихода сигнала;
- 2) $K_{(с/п)вых} = \frac{q_{с\text{ вых}}/q_{п\text{ вых}}}{q_{с\text{ вх}}/q_{п\text{ вх}}}$ – коэффициент подавления помехи на выходе АР;
- 3) диаграммы направленности АР и ААР при $K = 1$ и $K > 1$ (например, $K = L$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 2 и 3 построены графики диаграмм направленности в декартовой и полярной системах координат при воздействии на вход линейной эквидистантной АР сигнала и двух помех. Сплошная кривая на рис. 2 есть нормированная ДН неоптимизированной АР без взвешивания напряжений с выходов элементов АР в отсутствие помех. Пунктирная кривая есть ненормированная ДН АР с оптимальным ВВК, вычисленным по формуле Уидроу [2, 3] при значении коэффициента уровня эталонного сигнала $K = 1$. Штриховая и штрихпунктирные кривые на рис. 3 отличаются от пунктирной кривой только введением коэффициентов $K = 5$ и $K = 10$.

Диаграммы построены для следующих значений параметров: число элементов АР $L = 10$; относительный уровень сигнала $q_c = 100$; относительный уровень помех $q_{п1} = q_{п2} = 500$; угол прихода сигнала $\theta_c = 0^\circ$ (град); углы прихода первой и второй помехи $\theta_{п1} = 5^\circ$ (град) и $\theta_{п2} = -15^\circ$. Помеха с направления $\theta_{п1} = 5^\circ$ попадает в главный лепесток ДН и оказывает наибольшее влияние. Диаграмма направленности при оптимизированном ВВК искажается: главный лепесток отклоняется, в направлениях помех $\theta_{п1} = 5^\circ$ и $\theta_{п2} = -15^\circ$ формируются нули ДН, но при этом увеличивается один из первых боковых лепестков, соответствующий попадающей в основной лепесток помехе $\theta_{п1} = 5^\circ$.

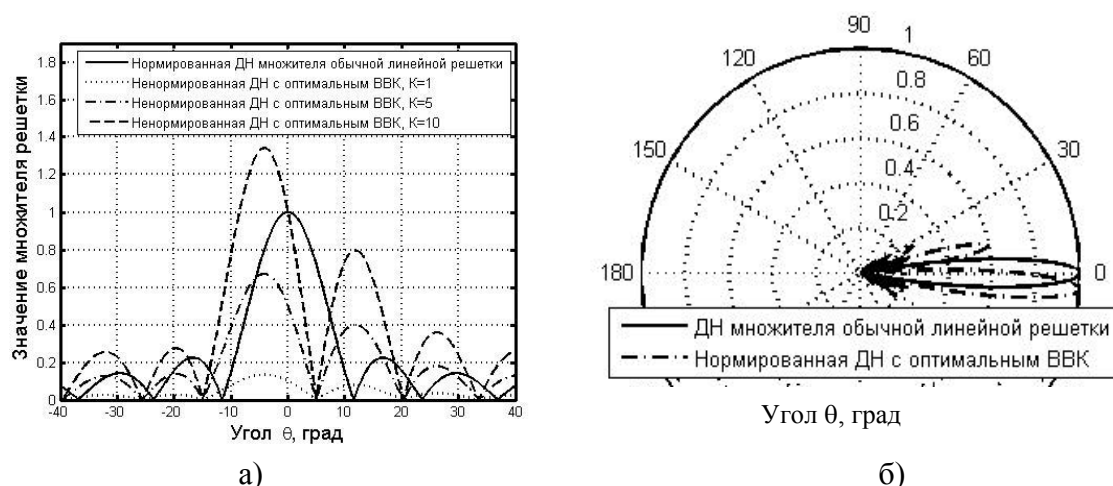


Рис. 2. Значение множителя линейной решетки по амплитуде при воздействии на вход сигнала и двух помех с относительным уровнем $q_c = 100$, $q_{п1} = q_{п2} = 500$: а – в декартовой системе координат; б – в полярной системе координат

Следует отметить, что при моделировании проявилось обычно не отмечаемое свойство зависимости от уровня сигнала и/или уровня эталона величины ненормированной ДН при

оптимальных ВВК и других характеристиках ААР. При большем уровне сигнала и/или уровне эталона ненормированная ДН имеет большие значения (рис.3).

На рис. 4 представлены кривые зависимостей коэффициента подавления помех от угла прихода первой помехи для случаев одной (штриховая линия), двух (пунктирная и штрихпунктирная линии) и трех (сплошная линия) помех. Сигнал приходит с направления $\theta_c = 0^\circ$. Пунктирная и штрихпунктирная линии построены для углов прихода второй помехи $\theta_{п2}$. Сплошная кривая построена для углов прихода второй и третьей помехи $\theta_{п2} = 5^\circ$ и $\theta_{п3} = 15^\circ$.

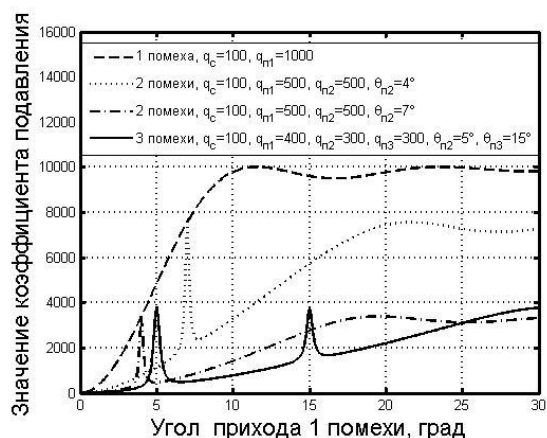


Рис. 4. Коэффициент подавления оптимизированной АР в различных условиях помеховой обстановки

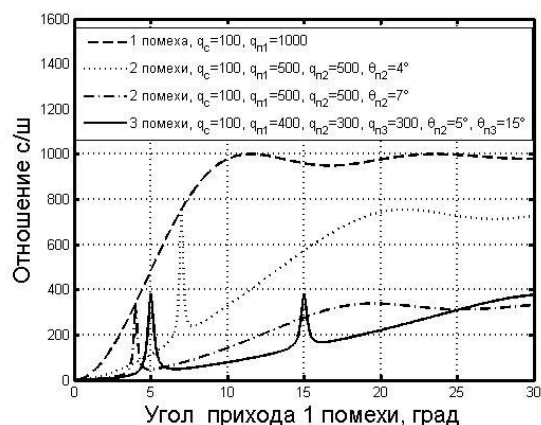


Рис. 5. Отношение с/ш на выходе оптимизированной АР в различных условиях помеховой обстановки

Анализ кривых приводит к следующим выводам:

- максимальное значение коэффициента подавления помех достигается, как и ожидалось, за пределами главного лепестка ДН, т. е. в области боковых лепестков. При угловом различии помех и сигнала, меньшем ширины главного лепестка ДН, подавление помех существенно уменьшается, и чем меньше это различие, тем в большей степени,;
- при совпадении углов прихода взаимно некоррелированных помех ААР воспринимает две помехи как одну суммарной мощности, при этом степень подавления существенно увеличивается;

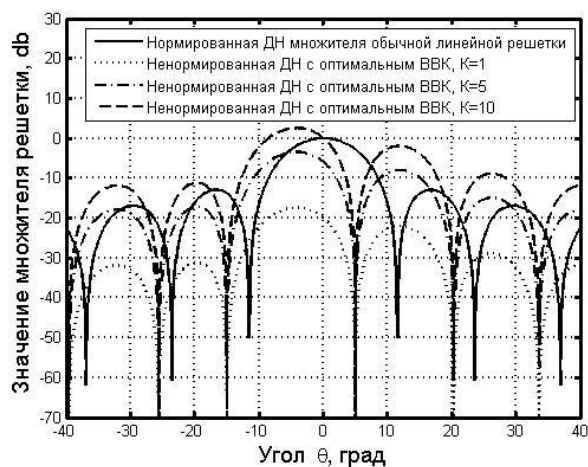


Рис. 6. Диаграмма множителя линейной антенной решетки в логарифмическом масштабе при воздействии на вход сигнала и двух помех

– наличие одной из помех в области главного лепестка ДН приводит к тому, что степень подавления суммарных помех в ААР Уидроу, в том числе и находящихся за пределами главного лепестка ДН, существенно падает.

Разработанная программа позволяет при разных условиях задачи найти точные значения характеристик ААР и обнаружить проявления ранее не отмеченных свойств ААР.

На рис. 5 в тех же условиях построены графики зависимостей отношения уровня сигнала к суммарному уровню помех и шума на выходе ААР с оптимальным ВВК. Оказывается, что в отсутствие специальных ограничений вид и значения

кривых слабо зависят от уровней помех, т. е. отношения сравнительно близки и по конфигурации кривые практически совпадают. Если уровни помех увеличить, то коэффициент эффективности ААР (степень подавления суммарных помех) также увеличивается, но при этом отношение уровней сигнала и суммарных помех на выходе ААР с оптимизированным ВВК практически мало изменяется. Косвенно это объясняется увеличением глубины «нулей» в углах прихода помех на построенной в логарифмическом масштабе ДН (рис.6). При изменении уровней помех в 10 раз вид ДН в декартовых координатах (см. рис. 2,а) не изменяется, но в логарифмическом масштабе на рис.6 видно, что глубина провалов на углах прихода помех увеличилась на 15–20 дБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов моделирования становится очевидным, что размещение помехи, даже сравнительно небольшого уровня, в главном лепестке ДН ААР приводит в общем случае к существенной потере эффективности ААР и возможности еще более ее ухудшить добавлением помех уже в область боковых лепестков ДН. Уменьшение эффективности ААР тем больше, чем меньше угловое различие между сигналом и помехой и чем больше уровень помехи. Подобное утверждение кажется очевидным, однако разработанная программа для моделирования позволяет получить точные значения рассчитываемых характеристик при любых допустимых условиях сигнально-помеховой обстановки.

Список используемых источников

1. *Widrow B., Mantey P.E., Griffiths L.J., Goode B.B.* Adaptive Antenna Systems // *Proceedings of the IEEE*. – 1967. – Vol. 55, № 12. – P. 2143–2159.
2. *Монзинго Р.А., Миллер Т.У.* Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
3. *Уидроу Б., Стирнз С.* Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
4. *Лукьянчиков А.И., Гарманов С.С., Мусеев А.П.* Обзор методов пространственной фильтрации при помощи адаптивной антенной решетки в системах спутникового позиционирования // *Современные научные исследования и инновации*. – 2016. – № 12. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/74815> (дата обращения: 11.01.2018).
5. Исследование помехоустойчивости радиолокационной станции обзора пространства к воздействию группы источников непреднамеренных шумовых помех / А.В. Галандзовский, А.А. Гусаров, А.В. Паршуткин, М. Саидж // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. – 2017. – Вып. 658. – С. 27–34.
6. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.
7. *Горяинов В.Т., Журавлев А.Г., Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника: Примеры и задачи: учеб. пособие для вузов / под ред. В.И. Тихонова. – 2-е изд. – М.: Сов. радио, 1980. – 544 с.
8. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
9. *Дженкинс Г., Ваттс Д.* Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1971. – Вып. 2. – 317 с.
10. *Попов А.С.* Пространственная селекция помех при разнесенном приеме сигнала // *Приборостроение*. – №1. – 2017. – С. 39–44.

П.Н. Топчий;
А.В. Харченко,
доктор техн. наук, доцент

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ МЕШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БАЗИСА ОБРАБОТКИ СИГНАЛА

В статье описан алгоритм обработки сигналов в радиоэлектронных системах, функционирующих в условиях небелых мешающих воздействий. Предлагаемый алгоритм решает задачу формирования корреляционной матрицы мешающих радиоприему воздействий, знание которой необходимо для оптимальной обработки, на основе вычисления ее собственных чисел и собственных векторов. Алгоритм основан на последовательном снижении размерности базисов представления вектора смеси полезного сигнала, шума и мешающего воздействия.

Ключевые слова: корреляционная матрица помехи, собственное число, собственный вектор, мешающее воздействие, помеха.

ВВЕДЕНИЕ

Современные радиоэлектронные системы функционируют в условиях множественных мешающих воздействий, вызванных как естественными, так и преднамеренными помехами различного происхождения.

В настоящее время известны различные способы борьбы с мешающими воздействиями (помехами), основанные на различных принципах подавления, компенсации и адаптивного приема полезного сигнала на фоне помех [1, 2].

Разработка новых алгоритмов и методов борьбы с помехами актуальна в силу изменяющейся электромагнитной обстановки, вызванной появлением и развитием средств, реализующих современные методы информационного обмена, использующие радиосигналы в широком диапазоне частот.

Как известно, для реализации оптимального различения сигналов на фоне радиопомех, создаваемых различными источниками, в том числе и промышленными, необходимо знание корреляционной матрицы помехи [2, 3], поскольку мешающее наблюдению воздействие является коррелированным. При этом погрешности в определении элементов корреляционной матрицы приводят к существенному ухудшению результата принятия решения по сравнению с реализацией оптимального различения сигнала на фоне некоррелированных (белых) мешающих воздействий.

Применение рассмотренного в статье алгоритма определения собственных чисел и собственных векторов корреляционной матрицы мешающего воздействия, основанного на последовательном преобразовании базиса представления вектора смеси полезного сигнала, шума и мешающего воздействия, позволит реализовать оптимальный прием для любого унимодального симметричного закона распределения мешающего воздействия.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗЛИЧЕНИЯ ДВУХ СИГНАЛОВ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Собственные числа корреляционной матрицы одинаковы в независимости от базиса представления случайного вектора мешающего воздействия, поэтому их знание позволит, с использованием соответствующего ортогонального преобразования, сформировать

корреляционную матрицу для конкретного случая реализации задачи обработки, независимо от области (пространства) наблюдения. Другими словами, знание собственных чисел и собственных векторов однозначно определяет корреляционную матрицу вектора мешающего воздействия в любом базисе его представления.

В результате аналогово-цифрового преобразования, реализуемого при цифровой обработке смеси полезного сигнала, шума и мешающего воздействия формируется набор отсчетов, который можно представить как вектор в N -мерном пространстве.

Так как принятая смесь обрабатывается одним устройством, то размерность пространства обработки соответствует необходимому числу отсчетов вектора сигнала, определяемому теоремой Котельникова [1]:

$$N = \frac{\tau_{\text{сиг}}}{T},$$

где $\tau_{\text{сиг}}$ – длительность сигнала;
 T – период дискретизации.

Отметим, что ширина спектра принимаемой смеси ограничена полосой пропускания фильтра защиты от наложения спектров [1].

Для рассматриваемой в статье задачи различения двух сигналов вектор наблюдения $\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T$ на входе устройства обработки имеет вид аддитивной смеси сигнала, помехи и шума:

$$\mathbf{r} = \mathbf{s}_i + \mathbf{f} + \mathbf{n},$$

где \mathbf{s}_i – вектор, один из двух возможных векторов полезных сигналов \mathbf{s}_1 или \mathbf{s}_2 ;
 \mathbf{f} – вектор мешающего воздействия с неизвестной корреляционной матрицей \mathbf{K}_f ;
 \mathbf{n} – вектор белого шума со спектральной плотностью средней мощности N_0 .

Правило принятия решения о наличии в принятой смеси сигнала \mathbf{s}_1 или \mathbf{s}_2 имеет вид [2]

$$\mathbf{r}^T \mathbf{K}_f^{-1} \mathbf{d} \underset{\mathbf{s}_2}{\overset{\mathbf{s}_1}{>}} 0,$$

где \mathbf{d} – разностный вектор, при этом $\mathbf{d} = \mathbf{s}_1 - \mathbf{s}_2$.

Как следует из приведенного соотношения, для реализации правила решения требуется знание корреляционной матрицы \mathbf{K}_f [2, 3, 7, 8].

Традиционная постановка задачи различения двух сигналов [1, 2] предписывает, что сигнал $\mathbf{s}_i \in \{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2\}$ занимает в пространстве обработки одно из двух заранее известных положений. В отличие от ожидаемого полезного сигнала, случайный вектор помехи занимает в пространстве обработки не определенное положение, а может находиться в любой точке некоторой ограниченной области этого пространства, конфигурация и объем которой определяются вероятностными характеристиками помехи.

Область пространства, в которую попадает конкретная реализация вектора помехи, представляет собой область N -мерного эллипсоида. Форма этого эллипсоида определяется корреляционной зависимостью между компонентами вектора \mathbf{f} и задается корреляционной матрицей \mathbf{K}_f . Для N -мерного распределения вероятностей эллипсоид рассеяния с центром в начале координат описывается формулой

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \Lambda_{ik} x_i x_k = N + 2,$$

где $[\Lambda_{ik}]$ – матрица, обратная корреляционной матрице, $[\Lambda_{ik}] = \mathbf{K}_f^{-1}$;

x_i – координата пространства обработки.

Эллипсоид рассеяния иллюстрирует распределение вероятностей по различным направлениям. «Объем» этого эллипсоида пропорционален корню квадратному из обобщенной дисперсии. Для несобственного распределения вероятностей (при $r < N$) спектр сосредоточен на некотором r -мерном линейном многообразии (прямой, плоскости, гиперплоскости) в N -мерном пространстве точек (x_1, x_2, \dots, x_N) , и там же расположен его эллипсоид рассеяния [4].

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ МЕШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА

Годограф двумерного вектора помехи (с параметрами – нормированная частота $f_0 T = 0,09121$, амплитуда 1 В) в рассмотренном выше базисе представлен на рис. 1. Каждая точка на эллипсе представляет собой одну из реализаций вектора помехи.

Известно [4, 5], что длины полуосей такого эллипса соответствуют корням квадратным соответствующих собственных чисел $\sqrt{\lambda_i}$ ($i = 1, N$) корреляционной матрицы \mathbf{K}_f .

Таким образом, для нахождения первого (максимального) собственного числа λ_1 и соответствующего ему собственного вектора достаточно определить координаты вектора реализации помехи с максимальной длиной (точки, максимально удаленной от начала координат). Длина этого вектора является оценкой величины $\sqrt{\lambda_1}$.

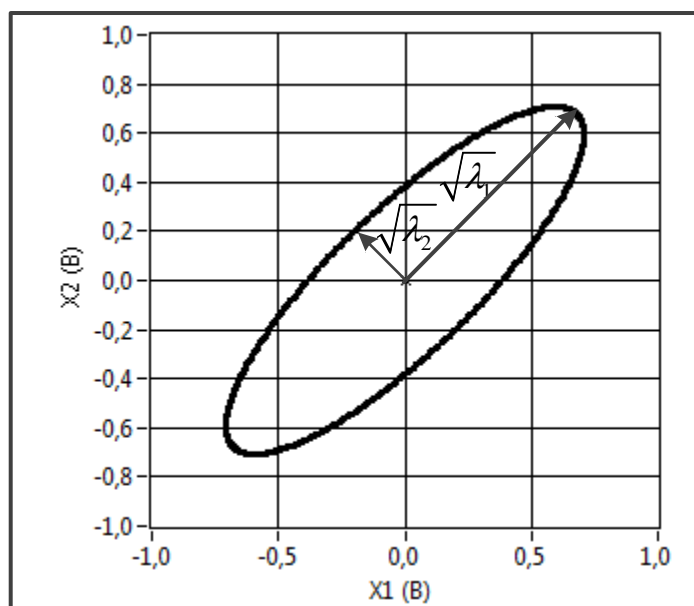


Рис. 1. Реализации 2-мерного вектора помехи
при отсутствии полезного сигнала

Для нахождения следующего собственного числа λ_2 и соответствующего собственного вектора необходимо найти вектор максимальной длины, перпендикулярный к первому собственному вектору. Определение λ_2 осуществляется с использованием следующих пошаговых процедур.

Шаг 1. Применяя ортогональное преобразование, изменяем базис пространства обработки (осуществляем поворот системы координат) таким образом, чтобы собственный вектор, соответствующий собственному числу λ_1 , совпал по направлению с ортом нового базиса. В

этом случае большая полуось эллипсоида рассеивания расположится вдоль одной из осей новой системы координат (нового базиса), а все реализации вектора наблюдения получат координаты в новом базисе.

Шаг 2. Изменяем размерность пространства наблюдения с N до $N - 1$, проецируя все реализации вектора наблюдения в новом базисе на пространство, перпендикулярное орту, соответствующему первому собственному вектору.

Шаг 3. Определяем координаты вектора реализации помехи с максимальной длиной в новом $N - 1$ -мерном пространстве. Длина этого вектора является оценкой величины $\sqrt{\lambda_2}$.

Заметим, что при рассмотренном преобразовании (повороте) для двумерного вектора наблюдения корреляционная матрица мешающего воздействия будет диагональной. Отсчеты случайного процесса, у которого корреляционная матрица является диагональной, независимы (некоррелированы), т. е. операция поворота системы координат (диагонализации корреляционной матрицы) – это операция декорреляции помехи. В случае N -мерного вектора наблюдения для декорреляции помехи необходимо выполнить $N - 1$ преобразований.

Значения $\lambda_3 - \lambda_N$ определяются с использованием пошаговых процедур, аналогичных процедурам определения λ_2 , включающих последовательное ортонормированное преобразование, снижение на единицу размерности пространства наблюдения и определение вектора с максимальной длиной в новом пространстве.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ МЕШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА

При приходе на вход решающего устройства смеси сигнала и помехи имеет место годограф результирующего вектора, изображенный на рис. 2.

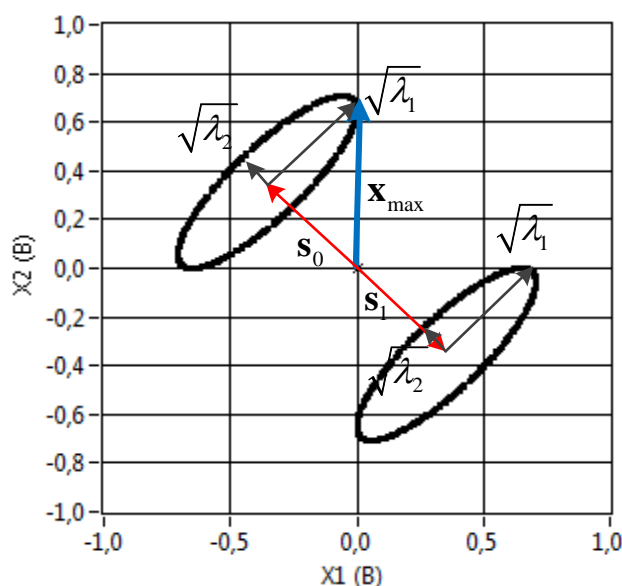


Рис. 2. Реализации 2-мерного вектора помехи при наличии полезного сигнала

Таким же образом определяем реализацию с максимальной длиной вектора, затем вычисляем расстояние от полученной точки до всех возможных реализаций алфавита сигнала:

$$\begin{cases} R_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_{\max i} - s_{0i})^2} \\ R_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_{\max i} - s_{1i})^2} \end{cases},$$

где $x_{\max i}$ – i -я координата вектора с максимальной длиной из всех реализаций принятой смеси;

s_{0i}, s_{1i} – i -я координата вектора соответствующего полезного сигнала.

Принимаем за гипотезу, что при наименьшем расстоянии данная реализация соответствует приему соответствующего символа алфавита:

$$\begin{cases} R_0 > R_1 - \text{реализация при приеме } s_1, \\ R_0 < R_1 - \text{реализация при приеме } s_0. \end{cases}$$

Вычитаем из вектора выбранной реализации смеси сигнала и помехи вектор выбранного символа алфавита. Полученный вектор является собственным вектором, а его длина – собственным числом.

Осуществляем поворот системы координат так, чтобы собственный вектор был ортом новой системы координат

При наличии в смеси БГШ с мощностью, много меньшей мощности помехи, ошибка в определении собственных чисел и собственных векторов не превышают N_0 (дисперсии шума).

Второе и последующие собственные числа ищем последовательно в пространстве размерности $-1, -2$ и т. д. (для 2-мерного пространства – на оси ОУ). Для этого проектируем все точки реализации случайного процесса на заданное пространство и повторяем вышеописанную процедуру.

Данную операцию осуществляем N раз или, если ранг матрицы помехи меньше N , до получения значения собственного числа, равного мощности действующего белого шума.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ МЕШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БАЗИСА ОБРАБОТКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛА, НАБЛЮДАЕМОГО НА ФОНЕ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ

Во многих практических задачах помеха – это случайный процесс, реализации которого представляют собой гармонические колебания с известными (детерминированными) амплитудой и частотой, но случайной начальной фазой. Реализация такого случайного процесса может быть записана как

$$\xi_k(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi_k),$$

где A – амплитуда;

f_0 – частота;

φ_k – случайная начальная фаза, равномерно распределенная на интервале $[0, 2\pi]$, т. е. имеющая следующую плотность вероятности:

$$w_{\varphi} = \begin{cases} \frac{1}{2\pi}, & \varphi \in [0, 2\pi[, \\ 0, & \varphi \notin [0, 2\pi[. \end{cases}$$

После дискретизации

$$\xi_k(n) = \xi_k(nT) = A \cos(2\pi f_0 nT + \varphi_k).$$

Элементы k_{nm} корреляционной матрицы \mathbf{K}_f вектора координат помехи в ортонормированном базисе определяются по формуле

$$k_{nm} = TK_{\xi}((m-n)T) = \frac{J}{2} \cos(2\pi f_0(m-n)T),$$

где $J = A^2T$ – среднее значение спектральной плотности средней мощности помехи.

Корреляционная матрица имеет вид

$$\mathbf{K}_f = \frac{J}{2} \begin{bmatrix} 1 & \cos(2\pi f_0 T) & \dots & \cos(2\pi f_0 (N-1)T) \\ \cos(2\pi f_0 T) & 1 & \dots & \cos(2\pi f_0 (N-2)T) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \cos(2\pi f_0 (N-1)T) & \cos(2\pi f_0 (N-1)2T) & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

При отсутствии полезного сигнала точные значения собственных чисел получены как корни характеристического уравнения N -й степени [4, 6]:

$$\det(\mathbf{K}_f - \lambda \mathbf{I}) \equiv \begin{vmatrix} k_{11} - \lambda & k_{12} & \dots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} - \lambda & \dots & k_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{NN} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

где λ – собственное число матрицы \mathbf{K}_f ;

\mathbf{I} – единичная матрица.

При наличии полезного сигнала и неизвестной корреляционной матрицы \mathbf{K}_f вычисление собственных чисел по формуле (1) приводит к значительным погрешностям.

Результаты расчетов по формуле (1) и по предложенному алгоритму для собственных чисел корреляционной матрицы гармонической помехи приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты вычисления элементов корреляционной матрицы

	Аналитическое решение	Алгоритм последовательной оценки	Аналитическое решение	Алгоритм последовательной оценки
	При отсутствии сигнала		Смесь сигнала и помехи	
λ_1	1,20622	1,20599	2,221482	1,20599
λ_2	0,293957	0,29401	0,96451	0,294009
λ_3	$-5 \cdot 10^{-17}$	$8 \cdot 10^{-31}$	1,34514	$8 \cdot 10^{-31}$

Данные приведены для гармонической помехи с нормированной частотой $f_0 T = 0,09121$ и амплитудой 1 В, полезный сигнал «0» – {1 -1 1}, «1» – {-1 1 -1}.

При сравнении полученных результатов становится понятным, что оценка собственных чисел, а следовательно, и оценка корреляционной матрицы помехи практически точно совпадают между собой при отсутствии сигнала. Если в оцениваемой смеси присутствует полезный сигнал, то традиционными методами собственные числа и корреляционную матрицу помехи вычислить невозможно, в то время как предложенный метод дает высокую точность.

Вывод. Предложенный алгоритм определения корреляционной матрицы мешающего воздействия на основе последовательного преобразования базиса при его практической реализации в устройствах обработки сигналов в радиоэлектронных системах, функционирующих в условиях воздействия на них небелых коррелированных помех, позволит достичь значения вероятности битовой ошибки, близкого к оптимальному.

Список используемых источников

1. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Информационные технологии в радиотехнических системах: учеб. пособие / В.А. Васин, И.Б. Власов, Ю.М. Егоров и др.; под ред. И.Б. Федорова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 672 с.
3. *Мальцев Г.Н., Харченко А.В., Гарагуля А.С.* Границы повышения помехоустойчивости радиотехнических систем передачи информации при цифровой обработке сигналов с компенсацией помех // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 4(71). – С. 111–116.
4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
5. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов: пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
6. *Ильин В.А., Позняк Э.Г.* Линейная алгебра: учебник для вузов. – 6-е изд., стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 280 с. – (Курс высшей математики и математической физики).
7. *Уидроу Б., Стринз С.* Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
8. *В.Е. Гантмахер, Н.Е. Быстров, Д.В. Чеботарев* Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка. – СПб.: Наука и техника, 2005. – 400 с.

А.В. Харченко,
доктор техн. наук, доцент;
В.Л. Якимов,
кандидат техн. наук, доцент

МЕТОД ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ БОРТОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Предложен метод первичной обработки телеметрической информации, обеспечивающий повышение достоверности значений телеизмерений. Метод основан на использовании моделей изменения телеметрируемых параметров бортовой аппаратуры космических аппаратов в проекциях фазового пространства, набора оптимальных линейных фильтров и стохастической оптимизации параметров формирующих фильтров. Представлены результаты применения метода для обработки телеметрируемых параметров малого космического аппарата.

Ключевые слова: космический аппарат, телеметрируемый параметр, фазовое пространство, оптимальный линейный фильтр.

ВВЕДЕНИЕ

Как показывает практика эксплуатации космических аппаратов (КА), вследствие влияния продолжительных во времени возмущений на контролируемые телеметрируемые параметры (ТМП) бортовой аппаратуры (БА), на борту КА возможны нештатные и даже аварийные ситуации [1]. Например, вероятной причиной аварии на борту КА Mars Polar Lander стало продолжительное во времени возмущение одного из контролируемых параметров, вследствие чего своевременно не отключились посадочные двигатели и произошло повреждение конструкции КА [2]. Аналогичные ситуации наблюдались при функционировании сложных робототехнических комплексов Dante II и Spirit [2]. Возмущения во временных рядах ТМП характеризуются: появлением аномальных отсчетов, нелинейных трендов, скачков значений ТМП и т. п. [3]. Пример возмущений во временных рядах ТМП при возникновении НС представлен на рис. 1 [4, 5]. В данном примере информативно важной составляющей рассмотренного динамического процесса является тренд, характеризующий растущее отклонение температуры от заданного значения вплоть до момента разрушения конструкции.

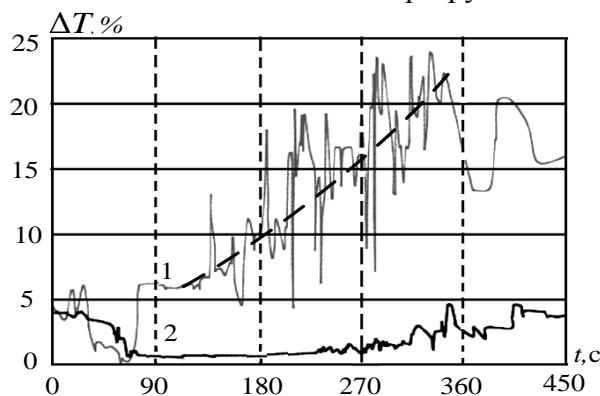


Рис. 1. Временные зависимости отклонения температуры от допустимого значения (ΔT) левого (кривая 1) и правого (кривая 2) крыла пилотируемого космического корабля после повреждения теплозащиты обшивки [4]

Своевременное выявление подобных изменений ТМП позволило бы правильно идентифицировать и спрогнозировать аварийную ситуацию на борту. Причинами появления неинформативной высокочастотной составляющей возмущений временных рядов ТМП являются особенности функционирования БА и специфика анализируемых НС, воздействие внешних факторов космического пространства, частично работоспособное состояние обеспечивающих бортовых систем КА, нелинейное взаимовлияние между ТМП при возникновении НС и т. п. [3]. Для выявления информативных трендов и обнаружения НС в подсистемах диагностирования БА должны быть заложены различные модели изменения ТМП, которые, к сожалению, не всегда известны. С другой стороны, имеется достаточно большой объем накопленной измерительной и экспертной информации, полученной по результатам различных испытаний БА и, в том числе, летной эксплуатации однотипных КА. Использование этой информации позволяет синтезировать модели анализируемых процессов и использовать их для решения задачи повышения достоверности телеизмерений в условиях сильных возмущений с последующей идентификацией состояния БА и парированием НС.

В общем случае модели процессов функционирования БА можно рассматривать как динамические, описываемые следующими уравнениями состояния и наблюдения [2]:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_k &= \mathbf{F}(\mathbf{Q}_{k-1}) + \mathbf{S}_k, \\ \mathbf{Z}_k &= \mathbf{H}(\mathbf{Q}_k) + \mathbf{V}_k, \end{aligned} \quad (1)$$

где \mathbf{Q}_k – вектор состояния БА;

\mathbf{Z}_k – вектор измеряемых значений параметров БА;

$\mathbf{S}_k, \mathbf{V}_k$ – векторы возмущающих воздействий и шумов измерений соответственно;

\mathbf{F} и \mathbf{H} – функционалы, описывающие процесс изменения вектора состояния параметров и процесс измерения значений параметров БА;

k – номер дискретного отсчета времени.

Оценка вектора состояния \mathbf{Q}_k формируется в результате первичной обработки ТМП с использованием выражений (1).

В данной статье для описания анализируемых динамических процессов предлагается использовать унифицированные модели на основе структурно-параметрического описания фазовых портретов в различных проекциях, получаемых на основе временных рядов ТМП. Если шумы измерений гауссовские, а модели анализируемых процессов являются линейными, то для решения задачи оценивания вектора состояния оптимальным является фильтр Калмана [6]. В данной статье рассматривается набор фильтров Калмана – по одному фильтру на каждую проекцию фазового портрета анализируемого динамического процесса. При этом в каждый момент времени выбирается только одна проекция и модель, наилучшим образом описывающая поведение БА с учетом наблюдаемых возмущений.

В реальных ситуациях анализируемые процессы являются нестационарными, что требует постоянной адаптивной настройки параметров фильтров (их обучение) на основе имеющейся измерительной информации в пределах некоторого «окна наблюдения». В предлагаемом методе реализуется адаптация параметров используемых фильтров на основе алгоритма стохастической оптимизации [7].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В соответствии с теоремой Такенса, формулирующей требования к реконструкции фазового пространства динамических систем (ДС), их поведение можно описать по временной реализации параметров системы с использованием метода задержек [8]. При этом ТМП ДС представляется дискретными отсчетами: $x_0, x_1, x_2, \dots, x_M$, где M – количество отсчетов, полу-

ченных с интервалом Δt , который обычно выбирается равным времени первого пересечения нуля автокорреляционной функции временного ряда [8]. Эту оценку можно считать верхней, а прореживание временного ряда можно осуществлять исходя из качества решения целевой задачи. Для цифровых систем значение Δt кратно периоду дискретизации временного ряда ТМП. Под состояниями ДС будем понимать точки $\mathbf{X}_0=[x_0 \ x_1 \ \dots \ x_{N-1}]$, $\mathbf{X}_1=[x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N]$, ..., $\mathbf{X}_{M-N}=[x_{M-N} \ x_{M-N+1} \ \dots \ x_{M-1}]$ в N -мерном фазовом пространстве, где число состояний составляет $M-N+1$, а координаты $x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+N-1}$ представляют собой значения параметров k -го состояния и образуют фазовую траекторию. Размерность аттрактора N определяется на основе метода ложных ближайших соседей по реализации ТМП [8]. Важным достоинством рассмотрения ДС в фазовом пространстве является то, что близлежащие точки фазового портрета в некоторых его проекциях могут находиться на достаточно большом расстоянии друг от друга на временной оси и при этом одинаково характеризовать поведение системы, что позволяет создавать качественные модели ДС на основе кусочно-локальной аппроксимации, а наличие у ДС аттракторов позволяет создавать модели их глобального поведения на основе скрытых Марковских моделей, описывающих прохождение фазовой траектории ДС через определенные области фазового портрета. Это особенно важно при неопределенных воздействиях на ДС, так как позволяет детализировать оценку состояния ДС путем определения вероятности нахождения в известном и неизвестных состояниях (соответствующих областях фазового пространства) (рис. 2).

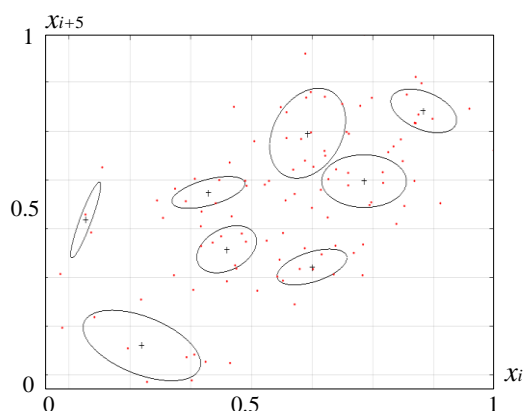


Рис. 2. Модель ТМП ориентации малого КА на Землю в виде набора кластеров в одной из проекций фазового портрета

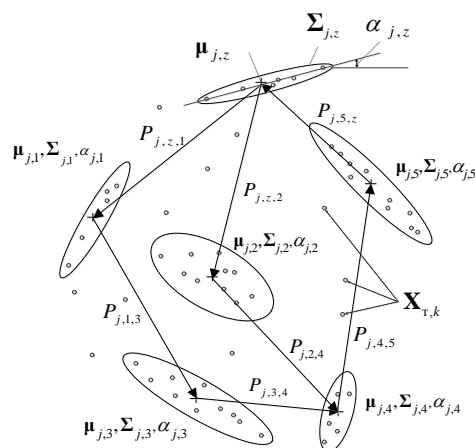


Рис. 3. Структурно-параметрическая модель с вероятностными переходами между состояниями ДС в одной из проекций фазового пространства

Важным достоинством рассматриваемых моделей является возможность отображения функциональных, сигнальных, обобщенных ТМП, вторичных вычисляемых характеристик и даже время-событийной информации в виде унифицированных структур, подлежащих процедуре распознавания. Для определения областей интереса в фазовом пространстве ДС можно использовать алгоритмы кластеризации (например, алгоритм ЕМ-кластеризации), результатом работы которых является совокупность кластеров и их характеристик, представленных на рис. 3 [9]. Для создания рассмотренных моделей необходимо использовать представительную выборку значений ТМП в условиях незначительных возмущающих воздействий. Количество устойчивых кластеров определяется путем многократной реализации процедуры кластеризации и оптимизации значений эмпирической целевой функции (например, на основе минимума внутриклассовой дисперсии точек) [10]. При использовании ЕМ-кластеризации в каждой j -й проекции фазового пространства распределение точек аппроксимируется набором из $N_{гр,j}$ двумерных гауссовских распределений:

$$\omega_{j,z} \eta_{j,z} (\mathbf{X}_T | \boldsymbol{\mu}_{j,z}, \boldsymbol{\Sigma}_{j,z}) : P_j (\mathbf{X}_T) = \sum_{z=1}^{N_{\text{гр},j}} \omega_{j,z} \eta_{j,z} (\mathbf{X}_T | \boldsymbol{\mu}_{j,z}, \boldsymbol{\Sigma}_{j,z}).$$

Здесь $\boldsymbol{\mu}_{j,z}$ – вектор средних значений z -го распределения;

$\boldsymbol{\Sigma}_{j,z}$ – корреляционная матрица z -го распределения;

$\omega_{j,z}$ – вес z -го распределения, при этом $\sum_z \omega_{j,z} = 1$, $j=1 \dots N-1$, где N – размерность вложения аттрактора ДС;

Каждый отдельный кластер определяет текущее состояние ДС и имеет форму эллипса со следующими характеристиками: центр $\boldsymbol{\mu}_{j,z}$; размеры осей, определяемые элементами главной диагонали матрицы $\boldsymbol{\Sigma}_{j,z}$; угол наклона эллипса к оси абсцисс на фазовой плоскости $\alpha_{j,z}$. Число кластеров $N_{\text{гр},j}$ в j -й проекции фазового портрета различно, а переходы между состояниями в фазовом пространстве носят вероятностный характер. При малых уровнях возмущений (до возникновения НС) значения ТМП будут определяться центрами соответствующих кластеров проекций фазового портрета (см. рис. 3). Необходимость решения задачи фильтрации с использованием дополнительных алгоритмических средств возникает при значительных возмущениях, превосходящих размеры кластеров модели ТМП. Рассмотрим данную задачу подробнее.

Дано: временная реализация анализируемого ТМП БА в фазовом пространстве; начальное состояние БА – $\mathbf{Q}_{j,0} = \boldsymbol{\mu}_{j,0}$; размерность вложения аттрактора в отсутствие возмущений – N ; набор моделей – $\{\mathbf{M}_j\}$, описывающих поведение БА в j -х проекциях фазового пространства; количество рассматриваемых проекций и используемых моделей – $N-1$. В некоторый момент времени в ТМП появляются неопределенные возмущения.

Требуется: повысить достоверность значений ТМП до решения задачи идентификации состояния БА.

СИНТЕЗ ФОРМИРУЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Первичная обработка ТМП реализуется в j -х проекциях фазового пространства на основе $N-1$ оптимального линейного фильтра с использованием соответствующих моделей $\{\mathbf{M}_j\}$. С учетом особенностей структурно-параметрических моделей выражение (1) для каждой j -й проекции фазового портрета принимает вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_{j,k} &= \mathbf{Q}_{j,k-1} + (\boldsymbol{\mu}_{j,k} - \boldsymbol{\mu}_{j,k-1}) + \mathbf{S}_{j,k}, \\ \mathbf{Z}_{j,k} &= \mathbf{Q}_{j,k} + \mathbf{V}_{j,k}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\mathbf{Q}_{j,k}$ – текущий вектор состояния БА в j -й проекции;

$\mathbf{S}_{j,k}$, $\mathbf{V}_{j,k}$ – векторы возмущений и шумов измерений в j -й проекции соответственно;

$\mathbf{Z}_{j,k}$ – вектор измеренных значений в j -й проекции.

Вектор $\mathbf{S}_{j,k}$ определяется ошибками кластеризации и корреляционной матрицей $\mathbf{D}_{s,j}$, а вектор $\mathbf{V}_{j,k}$ – внешними шумовыми и помеховыми воздействиями и соответствующей корреляционной матрицей $\mathbf{D}_{v,j}$. Для учета изменений дисперсий компонент вектора $\mathbf{Q}_{j,k}$ при переходе от состояния к состоянию и ориентации кластера точек выражение (2) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_{j,k} &= \mathbf{r}_{j,k} (\mathbf{Q}_{j,k-1} - \boldsymbol{\mu}_{j,k-1}) + \boldsymbol{\mu}_{j,k} + \mathbf{S}_{j,k}, \\ \mathbf{Z}_{j,k} &= \mathbf{Q}_{j,k} + \mathbf{V}_{j,k}, \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $\mathbf{r}_{j,k}$ – вектор коэффициентов в каждой j -й проекции,

$$\mathbf{r}_{j,k} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma_{x,j,k}}{\sigma_{x,j,k-1}} & 0 \\ 0 & \frac{\sigma_{y,j,k}}{\sigma_{y,j,k-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(d\alpha_k) & \sin(d\alpha_k) \\ -\sin(d\alpha_k) & \cos(d\alpha_k) \end{bmatrix},$$

где $\sigma_{x,j,k}^2$ и $\sigma_{y,j,k}^2$ – диагональные элементы корреляционных матриц $\Sigma_{j,k}$;
 $d\alpha_k = \alpha_k - \alpha_{k-1}$ – угол поворота точек при переходе между состояниями;
 α_k, α_{k-1} – углы наклона эллипсов $(k-1)$ -го и k -го состояния соответственно.

Введем в рассмотрение векторы $\mathbf{A}_{j,k} = \mathbf{Q}_{j,k} - \boldsymbol{\mu}_{j,k}$ и $\mathbf{Z}_{j,k}^* = \mathbf{Z}_{j,k} - \boldsymbol{\mu}_{j,k}$, тогда (3) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{j,k} &= \mathbf{r}_{j,k} \mathbf{A}_{j,k-1} + \mathbf{S}_{j,k}, \\ \mathbf{Z}_{j,k}^* &= \mathbf{A}_{j,k} + \mathbf{V}_{j,k}. \end{aligned} \quad (4)$$

В каждой j -й проекции используем свой формирующий фильтр, реализующий рекуррентную процедуру предсказания и коррекции вектора состояния [6]:

а) предсказание

$$\mathbf{A}_{\text{пр},j,k} = \mathbf{r}_{j,k} \mathbf{A}_{j,k-1}, \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_{\text{пр},j,k} = \mathbf{r}_{j,k} \mathbf{P}_{j,k-1} \mathbf{r}_{j,k}^T + \mathbf{D}_{s,j}. \quad (6)$$

б) коррекция

$$\mathbf{K}_{j,k} = \mathbf{P}_{\text{пр},j,k} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \mathbf{P}_{\text{пр},j,k} \mathbf{H}^T + \mathbf{D}_{v,j})^{-1}, \quad (7)$$

$$\mathbf{A}_{j,k} = \mathbf{A}_{\text{пр},j,k} + \mathbf{K}_{j,k} (\mathbf{Z}_{j,k}^* - \mathbf{Z}_{\text{пр},j,k}^*) = \mathbf{A}_{\text{пр},j,k} + \mathbf{K}_{j,k} (\mathbf{Z}_{j,k}^* - \mathbf{H} \mathbf{A}_{\text{пр},j,k}), \mathbf{Q}_{j,k} = \mathbf{A}_{j,k} + \boldsymbol{\mu}_{j,k}, \quad (8)$$

$$\mathbf{P}_{j,k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_{j,k} \mathbf{H}) \mathbf{P}_{\text{пр},j,k}. \quad (9)$$

В выражениях (3)–(9)

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_{j,k} &= \begin{bmatrix} q_{x,j,k} \\ q_{y,j,k} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\mu}_{j,k} = \begin{bmatrix} \mu_{x,j,k} \\ \mu_{y,j,k} \end{bmatrix}, \mathbf{S}_{j,k} = \begin{bmatrix} s_{x,j,k} \\ s_{y,j,k} \end{bmatrix}, \mathbf{V}_{j,k} = \begin{bmatrix} v_{x,j,k} \\ v_{y,j,k} \end{bmatrix}, \\ \mathbf{A}_{j,k} &= \begin{bmatrix} q_{x,j,k} - \mu_{x,j,k} \\ q_{y,j,k} - \mu_{y,j,k} \end{bmatrix}, \mathbf{Z}_{j,k} = \begin{bmatrix} z_{x,j,k} \\ z_{y,j,k} \end{bmatrix}, \mathbf{Z}_{j,k}^* = \begin{bmatrix} z_{x,j,k} - \mu_{x,j,k} \\ z_{y,j,k} - \mu_{y,j,k} \end{bmatrix}, \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ \mathbf{D}_{s,j} &= \begin{bmatrix} \sigma_{x,s,j}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{y,s,j}^2 \end{bmatrix}, \mathbf{D}_{v,j} = \begin{bmatrix} \sigma_{x,v,j}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{y,v,j}^2 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\mathbf{D}_{s,j}$ и $\mathbf{D}_{v,j}$ – корреляционные матрицы, такие что $\mathbf{S}_{j,k} \sim N_{\text{ш}}(0, \mathbf{D}_{s,j})$, $\mathbf{V}_{j,k} \sim N_{\text{ш}}(0, \mathbf{D}_{v,j})$ – случайные величины, распределенные по нормальному закону;

$\sigma_{s,j}^2, \sigma_{v,j}^2$ – соответствующие дисперсии шумов кластеризации и измерений для каждой j -й проекции, $\sigma_{s,j}^2 = \{\sigma_{x,s,j}^2, \sigma_{y,s,j}^2\}$, $\sigma_{v,j}^2 = \{\sigma_{x,v,j}^2, \sigma_{y,v,j}^2\}$, $\sigma_{v,j} \gg \sigma_{s,j}$;

\mathbf{H} – матрица наблюдений;

\mathbf{I} – единичная матрица.

Каждый из $N-1$ формирующих фильтров требует адаптивной настройки параметров $\sigma_{s,j}$ и $\sigma_{v,j}$, определяющих коэффициент усиления (7). Полученные в каждой j -й проекции результаты фильтрации необходимо преобразовать в отсчеты одномерного временного ряда $\mathbf{X}^* = \{x_k^*(\mathbf{Q}_{j,k})\}$. Аналогичным образом необходимо получить отсчеты одномерного времен-

ного ряда из модельных данных центров кластеров $\mathbf{X} = \{x_{m,k}(\mu_{j,k})\}$. В ходе решения задачи оптимизации параметров формирующих фильтров необходимо определить:

$$\begin{aligned} \{\sigma_{s,j}, \sigma_{v,j}\}_{\text{opt}} &= \arg \min E^2(\{\sigma_{s,j}, \sigma_{v,j}\}), \\ E^2(\{\sigma_{s,j}, \sigma_{v,j}\}) &= \frac{1}{M-1} \sum_{k=0}^{M-1} (x_{m,k}(\mu_{j,k}) - x_k^*(Q_{j,k}))(x_{m,k}(\mu_{j,k}) - x_k^*(Q_{j,k})), \\ |\{\sigma_{s,j}, \sigma_{v,j}\}| &= 2(N-1), \end{aligned} \quad (11)$$

где M – размер «окна наблюдения»;

$\{\sigma_{s,j}, \sigma_{v,j}\}_{\text{opt}}$ – оптимальные значения параметров фильтров в пределах «окна наблюдения».

Величина M характеризует протяженность участков стационарности анализируемых процессов, определяется выбранным критерием и требуемой оперативностью принятия решения о состоянии БА.

МЕТОД ОБРАБОТКИ

Метод первичной обработки ТМИ с использованием рассмотренных выше структурно-параметрических моделей поведения ТМП включает следующие этапы:

- 1) инициализацию структурно-параметрических моделей;
- 2) фильтрацию ТМП в каждой проекции фазового портрета;
- 3) оптимизацию параметров формирующих фильтров.

Блок-схема алгоритма 1-го и 2-го этапов метода первичной обработки ТМП представлена на рисунке 4. При реализации автоматической обработки ТМП, управление этапами метода можно осуществлять через служебный параметр Reg, который принимает значение «0» – при выполнении 1-го и 2-го этапов, и значение «1» – при выполнении 3-го этапа.

На этапе инициализации происходит запуск процесса непрерывного формирования из временного ряда ТМП множества точек, соотносимых с каждой j -й проекцией фазового пространства. В отсутствие возмущений начальный и последующие векторы состояния могут быть определены с помощью структурно-параметрических моделей на основе вычисления минимального расстояния в фазовом пространстве между вектором измерений и центрами всех кластеров в каждой j -й проекции: $Q_0 = \{Q_{j,0}\}$, $Q_{j,0} = \mu_{j,0}$, $\|Z_j - \mu_{j,0}\| = \min \|Z_j - \mu_j\|$.

В условиях возмущений осуществляется запуск процесса фильтрации ТМП в каждой проекции фазового портрета, реализуется процедура предсказания (5)-(6) и коррекции (7)-(9) значений вектора состояния.

Прогноз реализуется в каждой j -й проекции для всех возможных путей из текущего фазового состояния в соответствии с моделями изменения ТМП в фазовом пространстве M_j , представленных на рис. 3.

При этом осуществляется оценка среднеквадратических погрешностей $E_{j,k+1}$ между векторами $Q_{j,k+1}$ и $\mu_{j,k+1}$ для всех полученных прогнозов во всех j -х проекциях; выбор направлений движения в графах моделей M_j , соответствующих минимальным погрешностям $E_{j,k+1}$; выбор наилучшего прогноза $Q_{j,k+1}$, соответствующего минимальному значению $E_{j,k+1}$ среди всех результатов фильтрации $Q_{j,k+1}$. На основе последовательностей прогнозных векторов состояния $Q_{j,k+1}$ в каждой j -й проекции формируется j -я компонента отфильтрованного временного ряда ТМП. На основе полученных компонент формируется таблица (12). Преобразование j -х компонент отфильтрованного временного ряда ТМП в одномерную реализацию \mathbf{X}^* про-

исходит с учетом фазового сдвига между координатами векторов состояния $\mathbf{Q}_{j,k+1}$ и полученных значений среднеквадратической погрешности $E_{j,k+1}$:

$$\begin{array}{cccccccc}
 q_{x,j,k} & q_{y,j,k} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & q_{x,j,k+1} & 0 & q_{y,j,k+1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & q_{x,j,k+2} & 0 & 0 & q_{y,j,k+2} & \dots & 0 \\
 0 & 0 & 0 & q_{x,j,k+3} & q_{y,j,k+3} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & q_{x,j,k+4} & q_{y,j,k+4} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{x,j,k+5} & q_{y,j,k+5} & 0 \\
 & & & & \dots & & & \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q_{x,j,k+N-1}
 \end{array} \quad (12)$$

В результате преобразований формируется отфильтрованный временной ряд \mathbf{X}^* , имеющий, к примеру, следующий вид: $q_{x,j,k+1}, q_{x,j,k+2}, q_{y,j,k+1}, q_{x,j,k+4}, q_{y,j,k+2}, \dots, q_{x,j,k+N-1}$.

В процессе фильтрации осуществляется запись всех исходных данных в пределах «окна наблюдения», определяемого дискретными отсчетами времени $t=k \dots k+M-1$, в специальный массив \mathbf{B}_1 с целью оптимизации параметров $\{\sigma_{s,j}, \sigma_{v,j}\}$ всех $N-1$ формирующих фильтров.

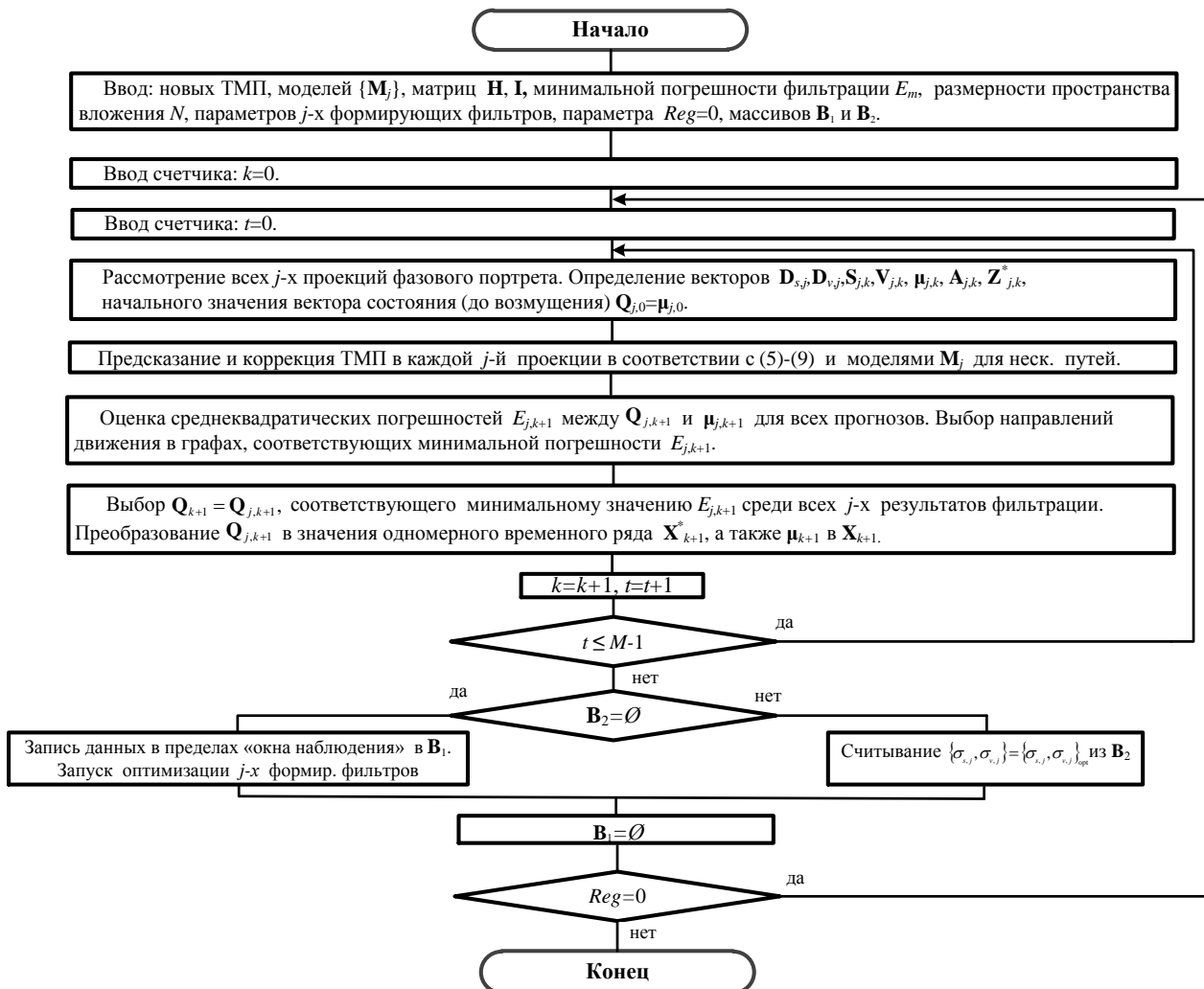


Рис. 4. Блок-схема алгоритма 1-го и 2-го этапов метода первичной обработки ТМП

Оптимизация параметров формирующих фильтров реализуется параллельно основному вычислительному процессу фильтрации по запросу внешней управляющей системы (через изменение параметра Reg) с использованием рандомизированного алгоритма стохастической оптимизации SPSA, блок-схема которого представлена на рис. 5 [7].

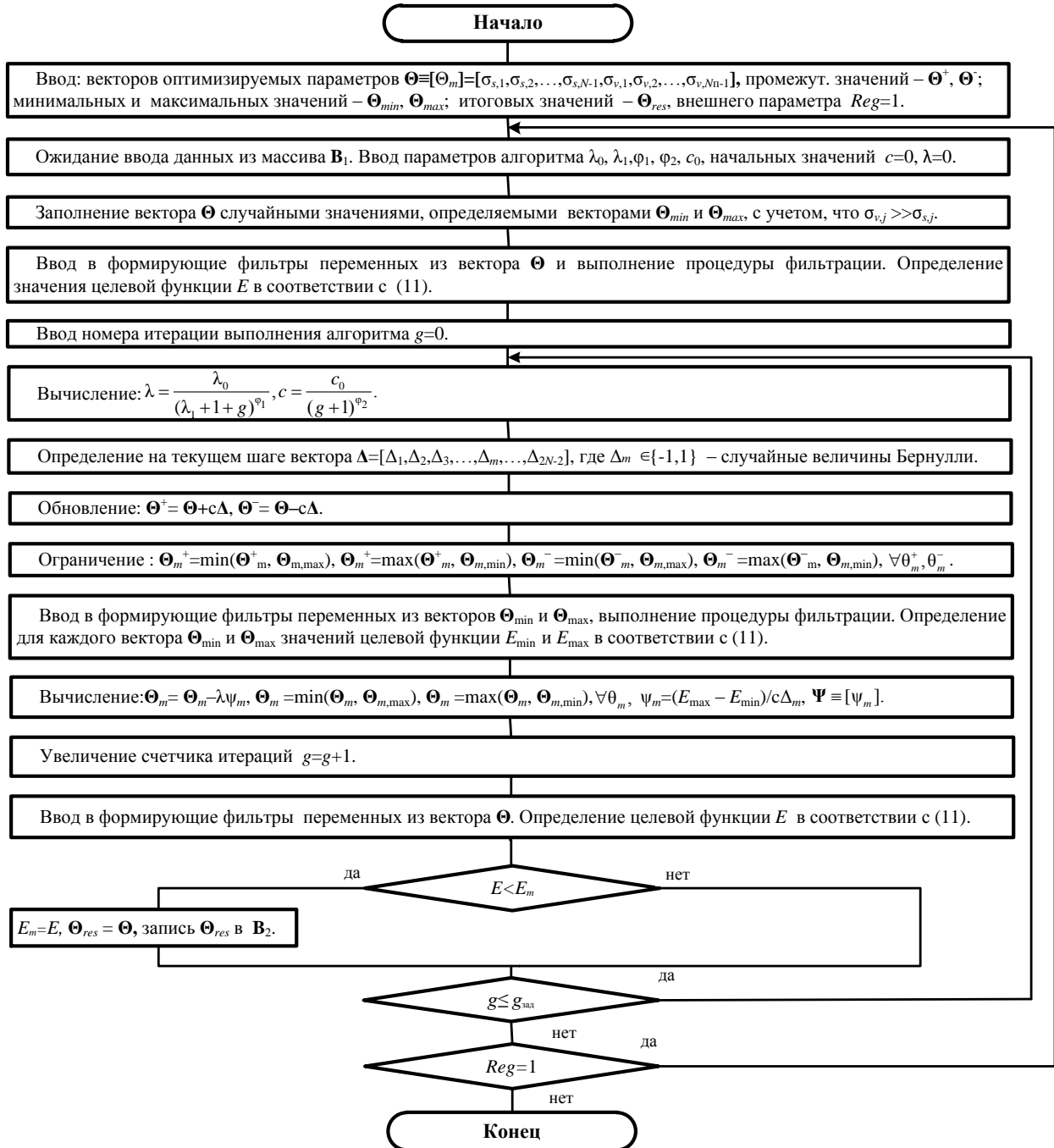


Рис. 5. Блок-схема 3-го этапа метода первичной обработки ТМП

Оптимизированные в результате выполнения алгоритма SPSA параметры $\{\sigma_{s,j}, \sigma_{v,j}\}_{opt}$ записываются в массив \mathbf{B}_2 и, в дальнейшем, используются на этапе фильтрации ТМП.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проанализируем результаты применения разработанного метода для обработки типового функционального ТМП ориентации КА на Землю и сигнального ТМП напряжения солнечной батареи малого КА при наличии НС и в условиях возмущений. Моделирование осуществлялось при следующих условиях: отношение уровня помехи к уровню ТМП не превышало 10 дБ, что соответствует процессам функционирования БА; размерность пространства вложения – $N=11$; количество моделей – 10; параметры алгоритма SPSSA – $\varphi_1=0.602$, $\varphi_2=0.101$, $\lambda_0=1$, $\lambda_1=1$, $c_0=1$, $\theta_{m,min}=-1$, $\theta_{m,max}=1$. На рис. 6а представлены зависимости среднеквадратической погрешности фильтрации функционального ТМП от среднеквадратического отклонения внешнего возмущения (гауссовского шума) σ_v .

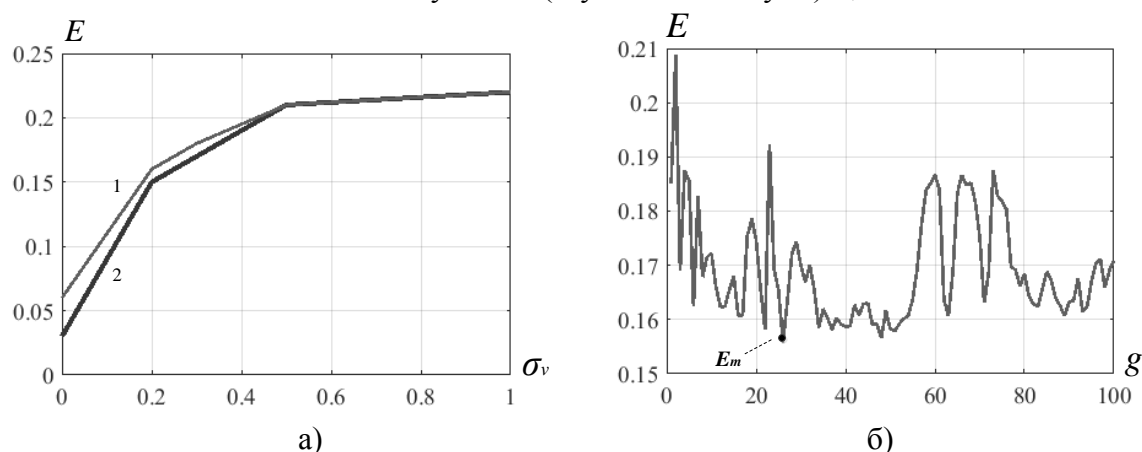


Рис. 6. Зависимости среднеквадратической погрешности фильтрации функционального ТМП:

а – от среднеквадратического отклонения внешнего возмущения (гауссовского шума), при использовании модели (2) – кривая 1, модели (3) – кривая 2; б – от количества шагов оптимизации параметров формирующих фильтров

Значение $\sigma_v = 0$ соответствует отношению уровня помехи к уровню ТМП, равному (-10дБ). Кривая 1 и 2 на рис. 6,а соответствуют использованию моделей вида (2) и (3). На рис. 6,б представлены зависимости среднеквадратической погрешности фильтрации функционального ТМП от номера итерации оптимизационной процедуры настройки параметров формирующих фильтров. На рис. 7,а и 7,б показаны результаты обработки функционального и сигнального ТМП при возмущениях, характеризуемых параметром $\sigma_v=0.2$ (0.6 дБ).

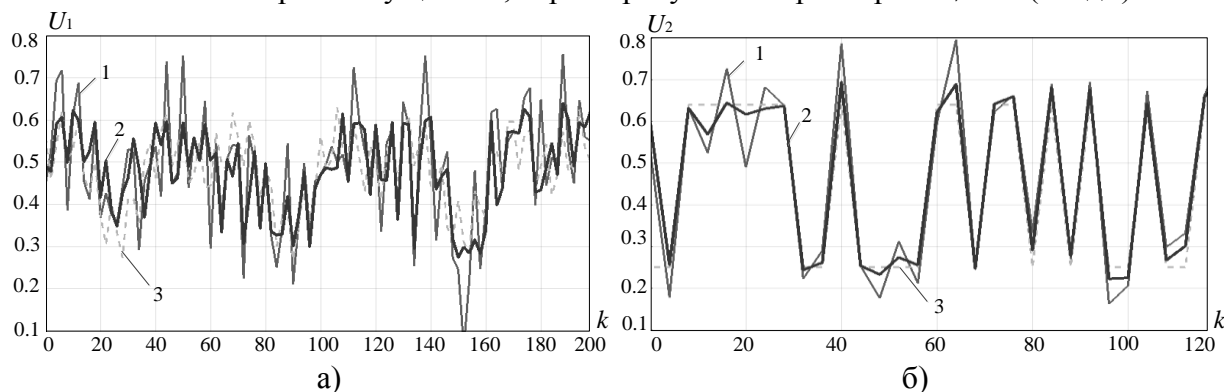


Рис. 7. Зависимости измеренных (кривая 1), фильтрованных (кривая 2), истинных (кривая 3, пунктиром) значений:

а – функционального ТМП; б – сигнального ТМП – от номера дискретного отсчета времени

На рис. 8 представлена гистограмма распределения количества обращений к j -й проекции в ходе фильтрации функционального ТМП, имеющая значительно неравномерный характер, что позволяет судить о наличии нескольких наиболее важных с точки зрения фильтрации проекций фазового портрета у рассматриваемой реализации временного ряда ТМП.

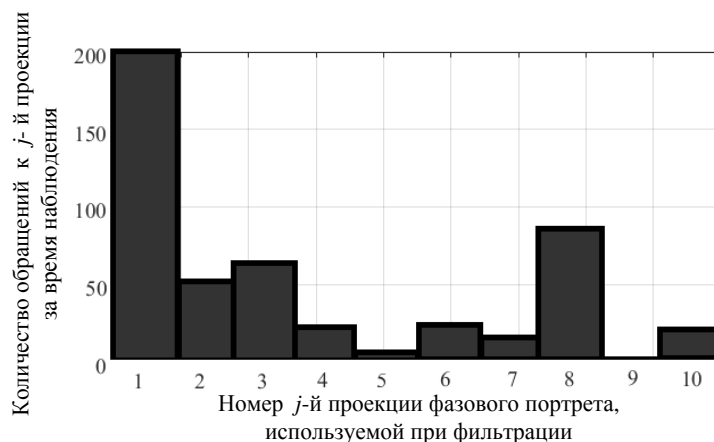


Рис. 8. Гистограмма распределения количества обращений к j -проекции фазового портрета в ходе фильтрации функционального ТМП

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложенный метод позволяет повысить вероятность отнесения текущего состояния БА по анализируемому временному ряду ТМП к множеству известных состояний БА за счет повышения достоверности телеизмерений в условиях значительных возмущений.
2. Модель вида (3) позволяет достичь меньшей погрешности фильтрации, чем модель вида (2), что особенно проявляется с уменьшением уровня возмущений в ТМП.
3. Важным достоинством предложенного метода является возможность обработки как функциональных, так и сигнальных ТМП.
4. На результат обработки существенное влияние оказывают всего несколько проекций фазового портрета, что позволяет говорить о развитии предложенного метода в направлении создания стратегий выбора наилучших проекций на этапе оптимизации формирующих фильтров с целью значительного повышения оперативности метода при незначительном ухудшении качества фильтрации.
5. Устойчивость предложенного метода обработки на реальных данных в условиях воздействия нестационарных шумов и помех достигается адаптивным выбором параметров формирующих фильтров и поиском наилучших проекций в N -мерном фазовом пространстве анализируемой ДС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный метод первичной обработки позволяет реализовать оптимальную линейную фильтрацию ТМП БА и повысить достоверность телеизмерений в условиях динамических возмущений, сопровождающих НС на борту КА. Данный метод основан на использовании унифицированных моделей изменений ТМП в проекциях фазового пространства, удовлетворяющих свойствам Марковских моделей, и получаемых на основе измерительной и экспертной информации о функционировании БА в ситуациях штатного функционирования и НС по результатам многочисленных испытаний и эксплуатации однотипных КА. Предложенный метод может быть применен в наземных автоматизированных комплексах обработки ТМИ, использующих многомодельный подход для решения задач обработки ТМП и анализа ТС БА КА. Его практическая реализация может потребовать дополнительных вычислительных ресурсов, что не является, однако, критичным для обработки

ТМИ в наземном сегменте системы информационно-телеметрического обеспечения управления КА при использовании адекватных аппаратных средств и современных технологий параллельных вычислений.

Список используемых источников

1. Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полетами. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – Ч.1. – 476 с.
2. Verma V. Tractable particle filters for robot fault diagnosis // Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh. – 2004. – 107 p.
3. Мальцев Г.Н., Назаров А.В., Якимов В.Л. Исследование процесса диагностирования бортовой аппаратуры автоматических космических аппаратов с использованием дискретно-событийной имитационной модели // Труды СПИИРАН. – 2018. – Т. 1(56). – С. 95–121.
4. Iverson D.L. Inductive System Health Monitoring Published in the Proceedings of The 2004 International Conference on Artificial Intelligence (IC-AI'04), CSREA Press, Las Vegas, NV, June 2004. – URL: <https://www.http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.101.5617&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 30.05.2018).
5. Соловьёв С.В. Интеллектуальный метод анализа для автоматизированного прогнозирования состояния КА // Наука и инновации. – 2016. – №2. – URL: <http://www.engjournal.ru/articles/1469/1469.pdf/> (дата обращения: 30.05.2018).
6. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана–Бьюси. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
7. Граничин О.Н., Поляк Б.Т. Рандомизированные алгоритмы оценивания и оптимизации при почти произвольных помехах. – М.: Наука, 2003. – 291 с.
8. Никульчев Е. В. Геометрический подход к моделированию нелинейных систем по экспериментальным данным. – М.: МГУП, 2007. – 162 с.
9. Lindgren A.C., Johnson M.T., Povinelli R.J. Speech recognition using reconstructed phase space features // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Hong Kong, China. – 2003. – Vol. I. – P. 61–63.
10. Рандомизированный алгоритм нахождения количества кластеров / О.Н. Граничин, Д.С. Шалымов, Р. Аврос, З. Волкович // Автоматика и телемеханика. – 2011. – №4. – С. 86–98.

А.В. Харченко,
доктор техн. наук, доцент;
С.А. Яшков,
кандидат техн. наук

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПОРОГА ПРИ ОБРАБОТКЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ С КОМПЕНСАЦИЕЙ СКОЛЬЗЯЩИХ ПО ЧАСТОТЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Представлена обобщенная схема, и описан процесс обработки фазоманипулированных шумоподобных сигналов с компенсацией помех на основе вейвлет-преобразования. Приведено математически формализованное описание операций выбора базиса дискретного вейвлет-преобразования для локализации помех в схеме компенсации и пороговой обработки вейвлет-коэффициентов с использованием критерия риска Штейна. Представлены результаты имитационного моделирования процесса приема и обработки шумоподобных сигналов в условиях воздействия скользящей по частоте гармонической помехи с учетом ее компенсации и использования пороговой обработки вейвлет-коэффициентов.

Ключевые слова: компенсация помех, обработка сигналов, дискретное вейвлет-преобразование, пороговая обработка, вейвлет-коэффициенты, критерий риска Штейна.

ВВЕДЕНИЕ

Обработка радиосигналов, подверженных искажениям различного характера является важнейшей задачей, решаемой в рамках широкого круга вопросов радиотехники. Помехозащищенность радиоэлектронных систем передачи информации (РСПИ) непосредственно зависит от используемых сигнально-кодовых конструкций и методов их обработки в приемных радиоустройствах. В современных РСПИ широко применяются шумоподобные фазоманипулированные сигналы (ШПС) – сигналы с расширенным спектром, сформированные методом прямой последовательности [1, 2]. При обработке сигналов в РСПИ для компенсации узкополосных мешающих помеховых воздействий, как правило, используются дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его модификации [3, 4]. Недостатком применения ДПФ для компенсации помех является фиксированная размерность пространства преобразования и, как следствие, фиксированное разрешение по времени и частоте для всех точек пространства преобразования сигналов и помех, которое не может адаптироваться к их локальным свойствам. Среди большого числа возможных ортогональных преобразований уникальными свойствами обладают дискретные вейвлет-преобразования (ДВП), которые имеют преимущество перед ДПФ за счет наличия локальных свойств базисных функций вейвлетов. В связи с этим появляется возможность адаптивно выбирать параметры пространства преобразования сигналов и локализовать помеху в частотно-временной области в любой момент времени [5, 6].

В общем виде процесс обработки ШПС с компенсацией помех на основе ДВП представлен на рис. 1.

Операция предварительной обработки в радиоприемном устройстве включает в себя необходимое число преобразований частоты, усиление и предварительную селекцию, а также обработку входной смеси сигнала и помехи антиэлайзинговым фильтром для устранения эффекта наложения парциальных спектров, возникающих при последующем аналого-цифровом преобразовании [2, 5].

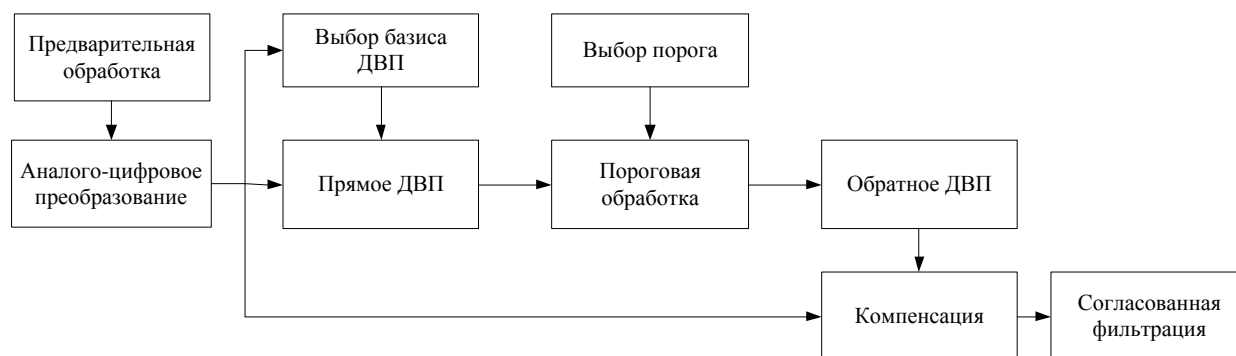


Рис 1. Обобщенная схема обработки ШПС с компенсацией помех на основе ДВП

В результате аналого-цифрового преобразования формируется вектор \mathbf{r} , компонентами которого являются отсчеты входной смеси сигнала и помехи $r[n]$, где n – целое число ($n \in Z$)

$$\mathbf{r} = \mathbf{s}_t + \mathbf{f}, \quad (1)$$

где \mathbf{s}_t – один из двух возможных полезных сигналов \mathbf{s}_1 или \mathbf{s}_2 , $\mathbf{s}_t = [s_{t1} \ s_{t2} \ \dots \ s_{tN}]^T$ ($t = 1, 2$);

\mathbf{f} – вектор помехи, $\mathbf{f} = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]^T$.

Прямое ДВП вектора \mathbf{r} заключается в его представлении в частотно-временной области, расположение и ширина которой зависит от частотно-временной протяженности функции масштаба ДВП [5]:

$$\phi_m[n] = \frac{1}{\sqrt{a^M}} \phi_0\left(\frac{n}{a^M}\right) \text{ при } n \in [-N/2, N/2], \quad (2)$$

где $m \dots M$ – уровень разложения ДВП;

a – параметр масштаба;

ϕ_0 – масштабирующая функция.

Операция прямого ДВП вектора (W_r) смеси входных сигналов позволяет определить локальную частотно-временную плотность энергии (P_w) – скейлограмму, которая иллюстрирует сосредоточение энергии \mathbf{r} в прямоугольниках Гейзенберга для каждой базисной функции дискретного вейвлета $\psi_m[n]$, $m \in Z$ с частотным центром (ξ) и функции масштаба $\phi_m[n]$ [3].

Результатом прямого ДВП вектора \mathbf{r} на низких и высоких частотах является набор вейвлет-коэффициентов (коэффициенты аппроксимации – $C_{k,m}$, и коэффициенты детализации – $D_{k,m}$):

$$r[n] = \sum_{k=1}^N C_{k,m} \phi_m[n-k] + \sum_{k=1}^N \sum_{m=0}^M D_{k,m} \psi_m[2^j n - k]. \quad (3)$$

Процесс обратного ДВП заключается в получении последовательности $\hat{r}[n]$, сформированной на основе вейвлет-коэффициентов:

$$\hat{r}[n] \approx a^{-M} \sum_{k=1}^N C_{k,m} \phi_m[n] + a^{-M} \sum_{k=1}^N D_{k,m} \psi_m[n]. \quad (4)$$

ПРАВИЛО ВЫБОРА БАЗИСА ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СМЕСИ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ

Для локализации отсчетов мешающих воздействий (в качестве примера выбрана скользящая по частоте гармоническая помеха) в виде P_w необходимо выбрать уровень разложения и базис ДВП, а также выбрать порог обработки вейвлет-коэффициентов [6].

В ходе проведения имитационного моделирования прямого ДВП вектора \mathbf{r} при отношении мощности помеховых воздействий (P_j) к мощности ШПС ($P_{\text{ШПС}}$) более 23 дБ выявлено, что при правильно выбранном базисе ДВП P_w сосредотачивается в частотно-временной области, ширина которой зависит от уровня разложения ДВП (3).

Операция выбора базиса ДВП позволяет подобрать базис для локализации отсчетов, мешающих приему помеховых воздействий в виде вейвлет-коэффициентов. Принятая смесь представляется M -векторами, выбранными из ортонормированных базисов $\beta = \{\mathbf{h}_m\}_{m \in N}$, где m – индексы векторов базисов, которые содержатся во множестве векторов ортонормированных базисов I_M ДВП.

Погрешность аппроксимации в выбранном базисе определяется как

$$\delta[M] = \|\mathbf{r}\|^2 - \sum_{m \in I_M} |\langle \mathbf{r}, \mathbf{h}_m \rangle|^2.$$

Сравнивая различные базисы, необходимо опираться на значения погрешностей аппроксимации помехи $\delta[M]$. Базис β_1 лучше, чем базис β_2 для аппроксимации помехи при выполнении условия

$$\sum_{m=1}^N \Phi \left(\frac{|\langle \mathbf{r}, \mathbf{h}_m^1 \rangle|^2}{\|\mathbf{r}\|^2} \right) < \sum_{m=1}^N \Phi \left(\frac{|\langle \mathbf{r}, \mathbf{h}_m^2 \rangle|^2}{\|\mathbf{r}\|^2} \right), \quad (5)$$

где Φ – функция стоимости.

В качестве функции стоимости выбрана функция энтропии распределения энергии вектора \mathbf{r} : $C(\mathbf{r}, \beta)$, которая определяется как

$$\Phi = C(\mathbf{r}, \beta_i) = - \sum_{m=1}^N \left(\frac{|\langle \mathbf{r}, \mathbf{h}_m \rangle|^2}{\|\mathbf{r}\|^2} \right) \ln \left(\frac{|\langle \mathbf{r}, \mathbf{h}_m \rangle|^2}{\|\mathbf{r}\|^2} \right), i \in Z. \quad (6)$$

На рис. 2 представлена скейлограмма, полученная в результате имитационного моделирования ДВП смеси ШПС и скользящей по частоте гармонической помехи с выбором базиса по расчетным значениям наименьшей функций стоимости [6].

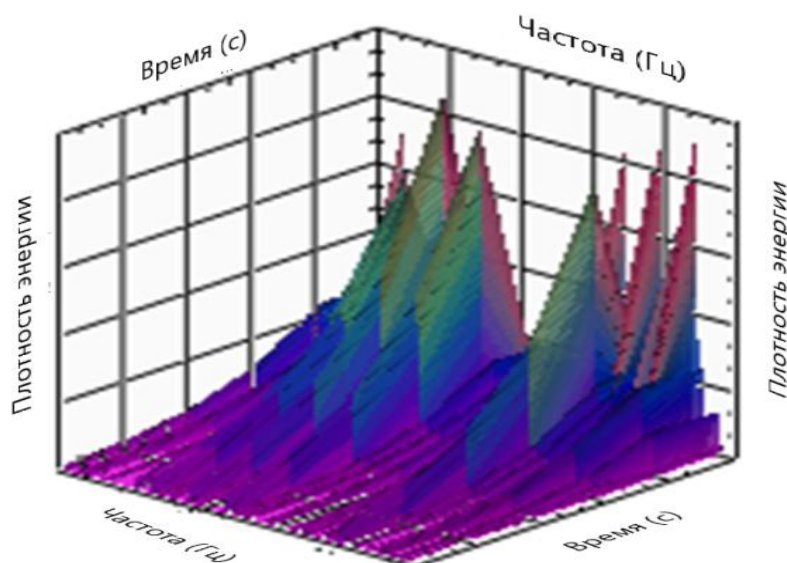


Рис.2. Скейлограмма смеси ШПС и скользящей по частоте гармонической помехи в биортогональном вейвлет-базисе

ВЫБОР ПОРОГА В БАЗИСЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Отсчеты помех в базисе ДВП распределяются неравномерно и локализуются в определенной частотно-временной области, зависящей от уровня разложения [6]. В математической интерпретации помеховые воздействия, превосходящие по мощности ШПС, характеризуются коэффициентами аппроксимации $C_{k,m}^*$ на различных уровнях разложения ДВП. ШПС в базисе ДВП распределяется равномерно по частоте и времени и характеризуется коэффициентами детализации

$$D_{k,m}^* = \sigma_{k,m} \xi_{k,m}, \quad (7)$$

где $\sigma_{k,m}$ — среднеквадратическое отклонение коэффициентов;

$\xi_{k,m}$ — значения коэффициентов, распределенных по нормальному закону [5].

Выбор порога при обработке коэффициентов в значительной степени влияет на компенсацию помех, так как чем больше составляющей ШПС в смеси будет подавлено при пороговой обработке, тем лучше будет сформирована оценка помехи, которая будет вычитаться относительно входной смеси.

Для того чтобы исключить в пространстве ДВП, производится операция пороговой обработки, которая заключается в обнулении значений вейвлет-коэффициентов, которые меньше по модулю значения порога T . Применение пороговой обработки позволит устранить в восстанавливаемом образе помехи отсчеты ШПС.

Значения коэффициентов ($C_{k,m}^*$ и $D_{k,m}^*$) после пороговой обработки определяются выражениями:

$$C_{k,m}^* = \begin{cases} 0, & \text{при } |C_{k,m}| \leq T, \\ C_{k,m} - T, & \text{при } C_{k,m} > T, \\ C_{k,m} + T, & \text{при } C_{k,m} < -T, \end{cases} \quad D_{k,m}^* = \begin{cases} 0, & \text{при } |D_{k,m}| \leq T, \\ D_{k,m} - T, & \text{при } D_{k,m} > T, \\ D_{k,m} + T, & \text{при } D_{k,m} < -T. \end{cases} \quad (8)$$

При определении значения порога на основе критерия риска Штейна необходимо вычислить среднеквадратические риски $\left[\mathfrak{R}_m^C(C_{k,m}) \text{ и } \mathfrak{R}_m^D(D_{k,m}) \right]$ на каждом уровне вейвлет-разложения коэффициентов:

$$\mathfrak{R}_m^C(C_{k,m}) = E(C_{k,m}^* - C_{k,m})^2; \quad \mathfrak{R}_m^D(D_{k,m}) = E(D_{k,m}^* - D_{k,m})^2, \quad (9)$$

где E – математическое ожидание.

Операция выбора порога определяет значения риска Штейна ($SURE$) по статистике обработанных коэффициентов:

$$SURE = \sum_{m=1}^M \mathfrak{R}_m(\sigma_{k,m}, \xi_{k,m}, T), \quad (10)$$

где $\mathfrak{R}_m = \mathfrak{R}_m^C(C_{k,m}) + \mathfrak{R}_m^D(D_{k,m})$.

Порог устанавливается таким образом, чтобы среднеквадратические риски на каждом уровне разложения были минимальны:

$$\hat{T} = \operatorname{argmin} \sum_{m=1}^M \mathfrak{R}_m(\sigma, \xi_m, T).$$

Выбор порога устанавливается в следующих вариантах:

- универсальная (общая) фильтрация, когда порог T выбирается общим для всех уровней m разложения;
- многоуровневая фильтрация, когда пороги $T = T_m$ выбираются различными для разных уровней разложения m ;
- локально-адаптивная фильтрация, когда пороги фильтрации коэффициентов меняются по уровню разложения m и для различных номеров k , также пороги $T = T_{k,m}$ меняются по статистике уже обработанных коэффициентов [4].

На рис. 3 представлены результаты имитационного моделирования ДВП смеси ШПС и скользящей по частоте гармонической помехи после пороговой обработки с выбором порога на основе критерия риска Штейна.

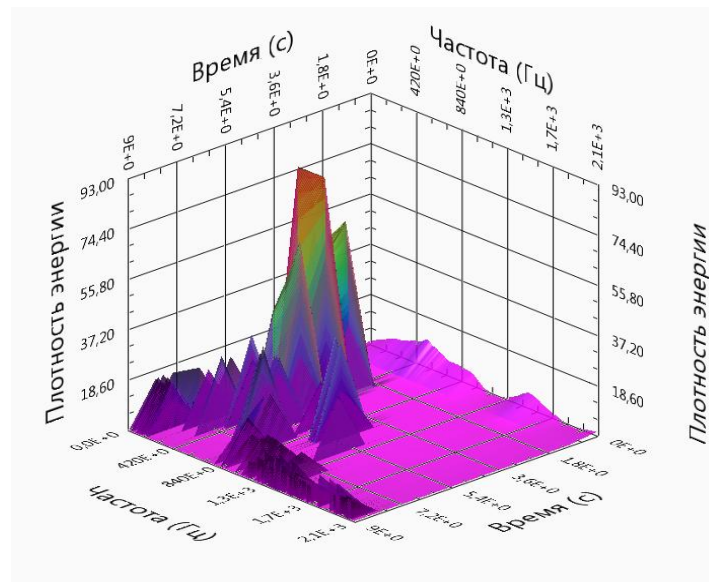


Рис.3. Скейлограмма смеси ШПС и скользящей по частоте гармонической помехи после пороговой обработки в биортогональном вейвлет-базисе

В результате пороговой обработки коэффициентов ДВП смеси полезного ШПС и скользящей по частоте гармонической помехи исключена составляющая в виде ШПС (рис. 3). Это объясняется тем, что составляющая принимаемой ШПС в смеси в большей степени отражается на детализирующих коэффициентах разложения, чем на аппроксимирующих коэффициентах, представляющих собой сглаженный сигнал за счет адаптации базиса вейвлет-преобразования к помехе. В простейшем случае удаление ШПС из смеси сводится к обнулению значений коэффициентов, меньших заданного порогового значения [4, 5].

При исследовании различения ШПС в условиях влияния скользящей по частоте гармонической помехи в качестве исходных данных были приняты следующие значения:

- отношение мощности помехи к мощности ШПС $P_j/P_{\text{ШПС}} = 23$ дБ;
- коэффициент расширения спектра ШПС $K_s = 511$;
- тип ШПС – фазоманипулированный с индексом манипуляции π ;
- отношение энергии информационного символа к спектральной плотности средней мощности шума $E_s/N_0 = 38$ дБ.

В качестве правила принятия решения различения двух сигналов использовался критерий максимального правдоподобия. На рис.4 представлены спектр Фурье и осциллограмма смеси ШПС и скользящей по частоте гармонической помехи после аналого-цифрового преобразования. На рис.5 представлен спектр Фурье и осциллограмма смеси ШПС и скользящей по частоте гармонической помехи после компенсации. На рисунках видно, что из смеси исключена составляющая скользящей по частоте гармонической помехи, спектр которой присутствует на рис.4. На рис. 6 показаны результаты различения полезных сигналов после согласованной фильтрации.

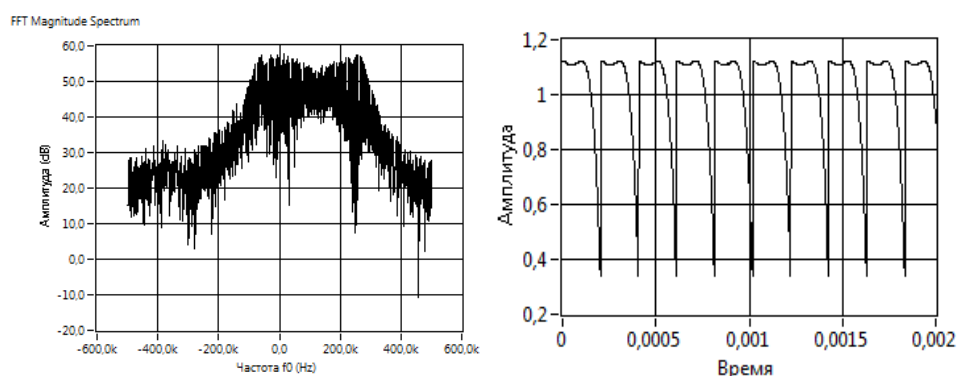


Рис.4. Спектр Фурье и осциллограмма смеси ШПС и скользящей по частоте помехи без компенсации

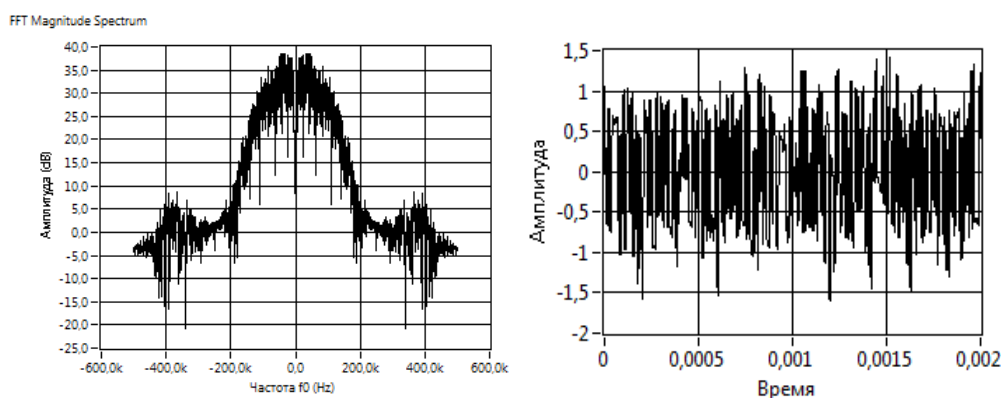


Рис.5. Спектр Фурье и осциллограмма смеси ШПС и скользящей по частоте помехи после компенсации

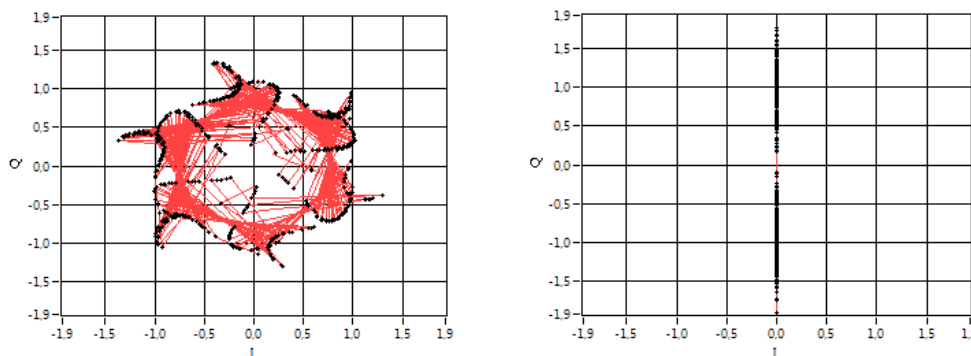


Рис.6. Сигнальное созвездие двоичного фазоманипулированного сигнала после различения без применения компенсации (слева) и с применением компенсации и выбором порога (справа)

На рис. 6 представлены результаты различения ШПС с компенсацией скользящей по частоте гармонической помехи и применением алгоритма выбора порога при пороговой обработке вейвлет-коэффициентов в виде сигнальных созвездий. Полезный сигнал разделяется на две составляющие (одни характеризуют информационную «1», вторые информационный «0»). При этом достигается значение вероятности ошибочного приема информационного символа, равное 10^{-6} при отношении энергии информационного символа к спектральной плотности средней мощности шума, равном 38 дБ. Операция выбора порога для обработки вейвлет-коэффициентов играет важную роль в достижении результата компенсации помех и правильного различения ШПС после согласованной фильтрации.

В результате имитационного моделирования выявлено, что применение обработки сигналов на основе ДВП в схеме компенсации помех и использование пороговой обработки вейвлет-коэффициентов на основе алгоритма выбора порога в соответствии критерием риска Штейна позволяют достичь вероятности ошибочного приема информационного символа равной 10^{-2} при максимальном отношении мощности скользящей по частоте гармонической помехи к мощности полезного сигнала, равном от 30 до 42 дБ в диапазоне коэффициента расширения спектра ШПС от 511 до 8191.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм выбора порога позволяет выполнить пороговую обработку смеси сигналов и помех на основе локализованных вейвлет-коэффициентов для компенсации помех в низкочастотном тракте приемных устройств и в значительной степени повысить помехозащищенность радиосистем передачи информации, использующих фазоманипулированные шумоподобные сигналы.

Данный алгоритм целесообразно использовать при разработке перспективных радиоэлектронных систем с компенсацией помех, реализующих прием и обработку шумоподобных сигналов в сложной помеховой обстановке.

Список используемых источников

1. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

3. Харисов В.Н., Петров А.В. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. – М.: Радиотехника, 2005. – 688 с.
4. Умняшкин С.В. Основы теории цифровой обработки сигналов: учеб. пособие. – М.: Техносфера, 2016. – 528 с.
5. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
6. Харченко А.В., Яшков С.А. Алгоритм выбора базиса вейвлет-преобразования для компенсации помех при обработке сигналов в радиосистемах передачи информации // Вопросы радиоэлектроники. – 2017. – №4. – С. 44–50.

В.Ф. Алексеев,
доктор техн. наук, доцент;
В.Ю. Андриевская,
кандидат физико-математических наук, доцент;
А.Г. Осипов,
кандидат географических наук;
А.В. Прокофьев,
кандидат техн. наук

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ОСНОВ КОНЦЕПЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОДРОМОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

Сформулированы основные принципы геодезического обеспечения аэродромов государственной авиации. Предложено методом спутниковой геодезии создавать высокоточную опорную геодезическую сеть аэродрома и далее на ее основе развивать съемочные сети. Надежный контроль получаемой геодезической информации предложено обеспечить сходимостью результатов математической обработки спутниковых и традиционных измерений.

Ключевые слова: концепция, аэродром, геодезическое обеспечение, государственная авиация, точность, оперативность.

ВВЕДЕНИЕ

Геодезическая подготовка аэродромов, используемых гражданскими воздушными судами, выполняется в соответствии с требованиями Международной организации гражданской авиации (ИКАО) [1, 3, 5–7]. Следовательно [2, 4], для аэродромов государственной авиации актуальной становится проблема обеспечения исходной геодезической информацией, которая в полной мере соответствует требованиям ИКАО, а с другой стороны, обеспечиваются подготовка к применению и функционирование прицельно-навигационных комплексов всех типов самолетов, включая беспилотные летательные аппараты.

ПРИНЦИПЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОДРОМОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

Геодезическое обеспечение аэродромов государственной авиации представляет собой комплекс мероприятий по определению исходных геодезических данных, используемых для производства расчетов при программировании полета и ориентировании курсовых систем.

Основными геодезическими данными, получаемыми на аэродромах государственной авиации, являются плановые координаты точек в требуемых системах геодезических координат, дирекционные углы (геодезические азимуты) направлений, геодезические (ортометрические, нормальные) высоты точек.

Возрастающие требования к точности и оперативности определения исходных геодезических данных и значительный прогресс в геодезическом приборостроении требуют разработки новых подходов к решению задач геодезического обеспечения аэродромов государственной авиации. В основу разрабатываемых методов должны быть положены следующие основные принципы.

1. Принцип точности. Под точностью следует понимать характеристику погрешности получаемой геодезической информации, ее способность обеспечить решение целевых задач

базирующимися на аэродроме воздушными судами. Данный принцип можно сформулировать следующим образом: любые геодезические данные, получаемые на аэродроме, должны определяться со средней квадратической погрешностью, величина которой не превышает заданного значения.

2. **Принцип достоверности.** Данный принцип требует, чтобы любая геодезическая информация на аэродромах определялась, как минимум, дважды физически независимыми методами.

3. **Принцип оперативности.** Применяемые методы определения исходной геодезической информации на аэродромах государственной авиации должны обеспечивать оперативный набор измерительной информации в любых погодных условиях и любое время, а также применение наиболее рациональных методов математической обработки полученных результатов.

4. **Принцип универсальности.** Состав и точность исходных геодезических данных, определяемых на аэродроме государственной авиации, должны обеспечивать применение всех типов воздушных судов, которые базируются или могут базироваться на данном аэродроме.

5. **Принцип экономичности.** Под экономичностью подразумевается минимизация расходов материальных и финансовых ресурсов, затрачиваемых на получение геодезических данных, их обработку и систематизацию. Понятно, что основная часть ресурсов будет расходоваться на этапе набора информации в период полевых измерений. Поэтому принцип экономичности требует выполнения полевых наблюдений с минимальным расходом средств при соблюдении заданных требований к точности получения геодезических данных.

6. **Принцип реализуемости.** Под реализуемостью понимается наличие у исполнителей необходимого практического опыта выполнения задач по определению исходных геодезических данных на аэродромах государственной авиации с использованием современной специальной техники.

7. **Принцип централизации.** Данный принцип требует, чтобы методики выполнения полевых измерений и их математической обработки были едиными и обязательными для всех организаций, занимающихся геодезическим обеспечением аэродромов государственной авиации. Специальная техника, применяемая различными подразделениями при выполнении геодезических измерений, должна быть однотипной. Кроме того, планирование работ по геодезическому обеспечению аэродромов должно осуществляться единым органом управления.

8. **Принцип аттестации.** Исходные геодезические данные на аэродромах государственной авиации относятся к геодезической продукции специального назначения, аттестация и приемка которой проводятся в установленном порядке по результатам оценок точности (испытаний), выполненных заинтересованными организациями по единой программе и методике.

Сформулированные принципы позволяют предложить следующую концепцию геодезического обеспечения аэродромов государственной авиации.

ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОДРОМОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ

Основой для получения всех требуемых геодезических данных должна служить опорная геодезическая сеть. Такая сеть должна состоять из 3–5 геодезических пунктов. Выбор мест закладки центров пунктов опорной геодезической сети должен производиться с учетом обеспечения наилучших условий для проведения работ по определению координат навигационных объектов и аэронавигационных ориентиров, размещенных на аэродроме, геодезическими методами привязки. Опорные пункты должны быть равномерно рассредото-

чены по периметру аэродрома и надежно закреплены на местности подземными центрами. При проектировании мест расположения пунктов опорной сети необходимо обеспечить оптическую видимость между этими пунктами. Такой подход сделает возможным (при необходимости) развитие опорной сети аэродрома классическими методами геодезии, например методами триангуляции или трилатерации. Пространственное положение пунктов опорной сети должно определяться по результатам математической обработки наблюдений, выполненных приемной аппаратурой спутниковых навигационных систем. При этом каждый пункт опорной сети должен иметь непосредственную геодезическую связь с пунктами фундаментальной астрономо-геодезической сети и/или высокоточной геодезической сети, государственной геодезической сети, развитой в соответствии с «Инструкцией о построении государственной геодезической сети СССР» 1966 года, а также пунктами Всемирной геодезической системы WGS-84 (сети ITRF). Спутниковые наблюдения на всех пунктах опорной сети должны выполняться двухчастотной аппаратурой, принимающей сигналы навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Нормальные высоты пунктов опорной сети должны быть получены по результатам математической обработки геометрического нивелирования.

Геодезические построения, выполненные с применением спутниковой геодезической аппаратуры, как и любые другие, нуждаются в осуществлении контроля. Вопрос контроля приобретает большую актуальность при наличии помех (например, от РЛС) или намеренном искажении информационных сообщений от спутниковых радионавигационных систем. Результаты спутниковых измерений на пунктах опорной геодезической сети должны быть проконтролированы другим, физически независимым, методом. Решение задачи может быть достигнуто двумя способами. Первый из них заключается в выполнении между пунктами опорной сети высокоточных линейных измерений современными светодальномерами или электронными тахеометрами. На этапе математической обработки результаты спутниковых наблюдений и линейных измерений могут быть совместно уравнены с использованием метода наименьших квадратов. Другим способом контроля результатов спутниковых измерений может быть определение азимутов и дирекционных углов между пунктами опорной геодезической сети аэродрома с применением приборов автономного ориентирования (гиротеодолитов).

Далее выполняется геодезическая привязка элементов аэродрома государственной авиации, которая включает в себя определение координат и высот контрольных точек, порогов взлетно-посадочной полосы, точек стояния воздушных судов и пунктов проверки инерциальных систем, высоты оси взлетно-посадочной полосы и рулежной дорожки и других объектов, а также точек съемочной сети, от которых определяются координаты недоступных для спутниковых наблюдений объектов.

Основой для выполнения геодезической привязки элементов аэродрома должна служить опорная геодезическая сеть. Определение координат обеспечиваемых элементов аэродрома должно выполняться в кинематическом режиме реального времени (RTK), при котором базовые спутниковые референционные станции находятся на пункте с известными координатами и высотой в режиме непрерывной передачи корректирующей информации. Подвижная станция находится в режиме непрерывной работы как во время выполнения приема измерений на точке, так и во время перемещения между точками и аналогична способу «стой-иди» с меньшей продолжительностью инициализации спутникового приемника.

Координаты недоступных для спутниковых наблюдений объектов аэродрома следует определять методом полигонометрии от пунктов опорной сети или линейно-угловыми засечками с использованием современных электронных тахеометров от полученных спутниковым методом точек съемочной сети и/или элементов аэродрома.

Исходные геодезические данные, полученные на аэродромах государственной авиации, должны иметь возможность представления в различных (заданных) системах координат. Иначе говоря, геодезическая подготовка аэродромов должна включать методики, обеспечи-

вающие вычисление координат пунктов (объектов) аэродрома в системах координат WGS-84, ПЗ-90 и СК-42.

Геодезическое обеспечение аэродромов государственной авиации должно включать и создание инженерно-топографических планов. На территорию аэродрома следует создавать цифровой инженерно-топографический план масштабом 1:500, который необходим для построения 3D-моделей по управлению объектами аэродрома; составления кадастра объектов недвижимости; разработки проектов переустройства существующих и рабочих чертежей новых зданий и сооружений; для составления планов существующих подземных сетей и сооружений и привязки зданий и сооружений к участкам строительства.

Основным методом создания инженерно-топографических планов аэродромов государственной авиации должна стать съемка с применением современных электронных тахеометров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, геодезическая подготовка аэродромов государственной авиации должна включать:

- обследование пунктов государственной геодезической сети в районе обеспечиваемого аэродрома;
- рекогносцировку и обследование пунктов опорной сети аэродрома;
- закладку (при необходимости) пунктов опорной геодезической сети аэродрома;
- развитие опорной геодезической сети, которая является исходной основой для геодезической привязки элементов аэродрома;
- геодезическую привязку элементов аэродрома государственной авиации;
- съемку препятствий;
- преобразование полученных аэронавигационных данных в требуемые системы геодезических координат;
- создание цифрового инженерно-топографического плана масштабом 1:500.

Практическая реализация изложенной концепции обеспечит решение задач по определению геодезической информации на аэродромах государственной авиации оперативно и в полном соответствии с требованиями ИКАО и руководящими документами Министерства обороны Российской Федерации.

Список используемых источников

1. Руководство по всемирной геодезической системе – 1984 (WGS-84). – 2-е изд. – ИКАО, 2002.
2. Об утверждении федеральных авиационных правил «Нормы годности к эксплуатации аэродромов государственной авиации»: приказ Министра обороны РФ от 2 ноября 2006 года № 455. – М.: ФГУП Центральная типография МО РФ, 2008.
3. Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов»: приказ Минтранса России от 25.08.2015 года № 262. – URL: <https://base.garant.ru/71220192/#ixzz5jldhMhU0> (дата обращения: 02.11.2018).
4. Об опубликовании аэронавигационных данных аэродромов гражданской авиации, аэродромов совместного базирования и воздушных трасс Российской Федерации: приказ Минтранса России от 15.07.2010 года № 269. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=487676#014532007402819191> (дата обращения: 02.11.2018).

5. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19 марта 1997 года №60-ФЗ. – URL: <https://base.garant.ru/10200300/#ixzz5jlfHrTr3> (дата обращения: 15.11.2018).
6. Аэродромы: приложение 14 к конвенции о международной гражданской авиации. – 4-е изд. – ИКАО, 2004.
7. О введении в действие Методических рекомендаций по проведению геодезической съемки аэронавигационных ориентиров и препятствий в общеземных системах координат на аэродромах Российской Федерации, обеспечивающих неточные заходы на посадку: распоряжение Минтранса РФ от 10.01.2012 N ИЛ-1-р. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70034004/#ixzz5jlg026oS> (дата обращения: 02.11.2018).

В.Ф. Алексеев,
доктор техн. наук, доцент;
А.Г. Осипов,
кандидат географических наук;
А.В. Прокофьев,
кандидат техн. наук;
А.В. Телеш,
кандидат техн. наук

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАРТ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье изложены научно-методические подходы к созданию в среде ГИС синтетических карт оперативно-тактических свойств местности, суть создания которых заключается в свертке совокупности анализируемых показателей для показа объектов картографирования как единого целого.

Ключевые слова: оперативно-тактическое свойство местности, синтетическая карта, геоинформационная система, многопараметрическая свертка информации.

Для оценки обстановки при планировании боевых действий учитываются погодные условия и оперативно-тактические свойства местности (условия проходимости, маскирующие свойства, условия ориентирования, условия инженерного оборудования, защитные свойства, условия наблюдения, условия ведения огня, условия водоснабжения и др.).

В связи с появлением и развитием современных средств поражения сегодня в большей степени, чем раньше требуются навыки оперативной оценки оперативно-тактических свойств местности для использования ее преимуществ во всех видах боя.

В настоящее время для решения данной задачи широко используются геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют в короткие сроки обрабатывать большие объемы пространственно-распределенных данных и представлять результаты обработки в виде набора специальных карт. Современные ГИС позволяют принимать решения, основанные на сложном многопараметрическом анализе картографической информации.

Таким образом, одной из важнейших задач топогеодезического обеспечения войск является разработка методики создания синтетических карт оперативно-тактических свойств местности, необходимых для принятия обоснованных решений по управлению войсками и оружием. При этом под синтетической картой понимается карта, созданная путем свертки совокупности анализируемых показателей для отображения объектов картографирования как единого целого. Указанный факт подчеркивает актуальность проведенного авторами исследования.

В основу исследования лежит следующая гипотеза: если будет разработана методика создания синтетических карт оперативно-тактических свойств местности с использованием геоинформационных систем, то будет обеспечена качественная информационная поддержка принятия решений по управлению войсками и оружием, что позволит повысить достоверность принимаемых управленческих решений.

Теоретическая основа исследования. Теоретической основой разработанной авторами методики создания синтетических карт оперативно-тактических свойств местности с использованием геоинформационных систем является методология многопараметрической оценки качества сложноорганизованных объектов, реализованная в виде метода сводных показателей. Суть данного метода заключается в том, что качество изучаемого природного объекта может быть выражено совокупностью значений его свойств, характеризующих состояние.

Эта взаимосвязь может быть представлена в виде иерархической структуры так называемого «дерева свойств». Нулевой уровень этого дерева характеризует возможность использования данного объекта для выполнения определенных функций, в нашем случае ведения боевых действий [2–4].

Результаты исследования. Разработанная методика реализуется в девять этапов.

Первый этап включает в себя определение и структурирование информации, необходимой и достаточной для выполнения оценочных работ.

Второй этап включает в себя создание «дерева свойств», в основу которого закладываются принципы, изложенные в работе [4].

В качестве примера на рис. 1 приведено «дерево свойств», созданное для оценки проходимости местности боевой техникой вне дорог.



Рис. 1. «Дерево свойств», созданное для оценки проходимости местности боевой техникой вне дорог

Третий этап включает в себя определение для элементарных и квазиэлементарных свойств, входящих в «дерево свойств», их абсолютных значений. В том случае, если показатель, характеризующий элементарное или квазиэлементарное свойство, поддается методам физических измерений, его значения выражают в физических единицах, в противном случае – в баллах, для определения которых могут быть использованы экспертные методы.

Четвертый этап включает в себя определение для каждого элементарного и квазиэлементарного свойства, участвующего в оценке, ненормированных коэффициентов весомости (важности). Для этого предлагается использовать метод парных сравнений, изложенный в работах [3, 5].

Пятый этап включает в себя определение нормированных коэффициентов весомости (важности) каждого показателя, участвующего в оценке по следующей зависимости:

$$P_j = \bar{P}_{j1} \times \dots \times \bar{P}_{jn}, \quad (1)$$

где P_j – нормированный коэффициент весомости (важности) j -го элементарного (квазиэлементарного) свойства;

$\bar{P}_{j1}, \bar{P}_{jn}$ – средние ненормированные коэффициенты весомости (важности) 1-го и n -го уровней «дерева свойств», иерархически связанных в пределах одной ветви с j -м элементарным (квазиэлементарным) свойством;

n – количество уровней в дереве свойств.

Согласно приведенной зависимости нормированный коэффициент весомости (важности) элементарного (квазиэлементарного) свойства P_j рассчитывается путем перемножения средних ненормированных коэффициентов весомости отдельных свойств $P_{j1} \dots P_{jn}$, иерархически связанных друг с другом на дереве свойств.

Шестой этап включает в себя определение для всех элементарных и квазиэлементарных свойств эталонных значений их абсолютных показателей. Если оценка осуществляется в пределах одного региона и не предусматривает сравнение результатов с другими регионами, то в качестве эталонных значений абсолютных показателей принимаются их лучшие значения для изучаемого региона.

Седьмой этап включает в себя определение для всех элементарных и квазиэлементарных свойств относительных значений их показателей, с использованием следующих зависимостей:

$$R_j = \frac{w_j}{w_{jэ}} \text{ при } w_j \leq w_{jэ}, \quad (2)$$

$$R_j = \frac{w_{jэ}}{w_j} \text{ при } w_j \geq w_{jэ}, \quad (3)$$

где R_j – относительное значение показателя, характеризующее j -е элементарное (квазиэлементарное) свойство;

w_j – абсолютное значение показателя, характеризующее j -е элементарное (квазиэлементарное) свойство;

$w_{jэ}$ – эталонное абсолютное значение показателя, характеризующее j -е элементарное (квазиэлементарное) свойство.

Для получения более точных относительных значений показателей, характеризующих элементарные и квазиэлементарные свойства, приведенные выше линейные зависимости, следует заменить нелинейными.

Восьмой этап включает в себя создание на изучаемый регион цифровых моделей базовых картографических основ, их ввод в геоинформационную систему и оформление в принятых условных знаках. Параллельно с этим производится наполнение семантической базы данных информацией, необходимой для создания синтетических карт оперативно-тактических свойств местности.

Девятый этап включает в себя создание факторных карт, под которыми понимаются графические отображения пространственно-привязанной информации о степени проявления изучаемого показателя в пределах исследуемой территории. На рис. 2 для примера приведены факторные карты, создаваемые для оценки проходимости местности боевой техникой вне дорог. Факторные карты создаются в среде ГИС с использованием стандартного или специально разработанного программного обеспечения.

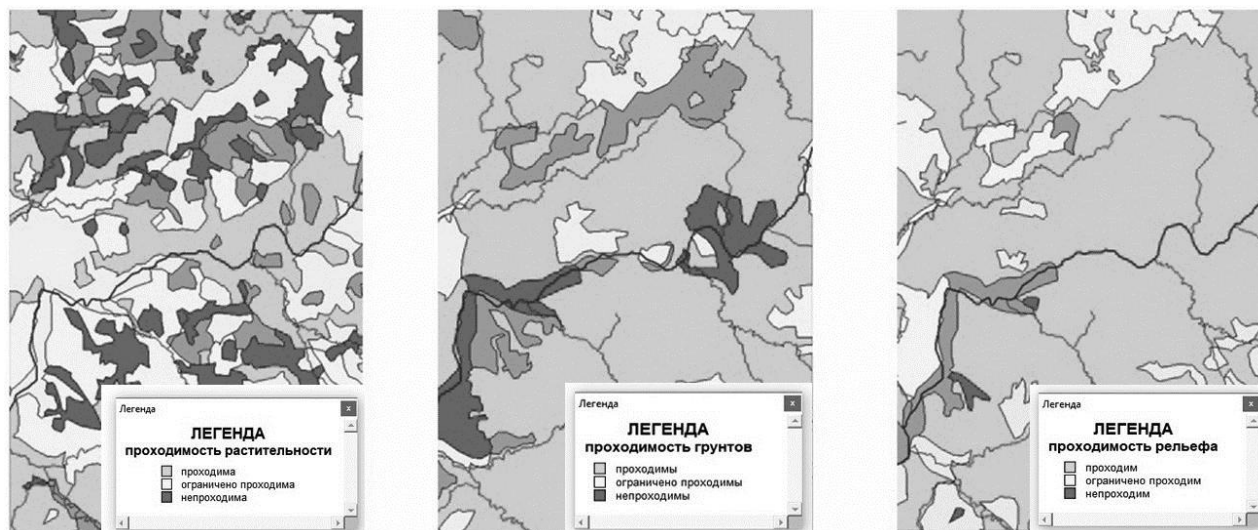


Рис. 2. Примеры факторных карт

Десятый этап включает в себя суммирование факторных карт с использованием операции «топологический оверлей». В итоге изучаемая местность делится на расчетные участки, представляющие собой однородные элементарные ареалы, в пределах которых каждый анализируемый показатель имеет только одно значение (рис. 3). В качестве примера приведено деление изучаемой местности на расчетные участки при создании синтетических карт проходимости.

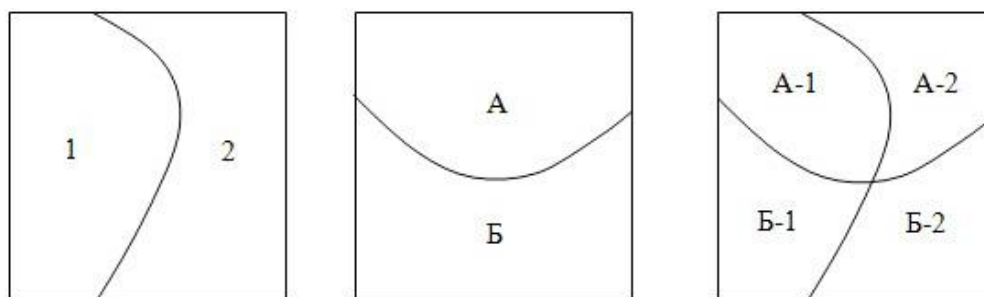


Рис. 3. Деление изучаемой территории на расчетные участки путем суммирования факторных карт. Условные обозначения:

1, 2 – ареалы, имеющие различные значения проходимости растительности;
А, Б – ареалы, имеющие различные значения проходимости грунтов; А-1, А-2, Б-1, Б-2 – расчетные участки, представляющие собой однородные по значению проходимости растительности и грунтов элементарные ареалы

Одиннадцатый этап включает в себя определение для каждого расчетного участка значения сводного показателя по следующей зависимости:

$$K_t^0 = \sum R_{ij} \times P_j, \quad (4)$$

где K_{tp}^0 – сводный показатель, характеризующий исследуемое оперативно-тактическое свойство t -го расчетного участка;

j – анализируемое элементарное (квазиэлементарное) свойство местности.

Например, если мы анализируем проходимость местности, то самым проходимым является тот расчетный участок, у которого показатель K_i^0 имеет наибольшее значение. Индекс «0» при показателе K_i^0 означает, что оценка дается применительно к самому низкому (нулевому) уровню в иерархии свойств, т. е. применительно к проходимости расчетного участка по совокупности показателей. При этом соотношение значений проходимости будет точно отражать действительность только в том случае, когда оценка производится по полному дереву свойств, без исключения из него свойств, одинаковых в сравниваемых объектах.

Двенадцатый этап включает в себя составление электронной синтетической карты изучаемого оперативно-тактического свойства местности. Для ее составления используется базовая картографическая основа с нанесенной сеткой расчетных участков.

К каждому расчетному участку, показанному на основе, привязывают информацию о проявлении изучаемого оперативно-тактического свойства. После этого участки, попадающие в один класс, объединяют и отображают принятым условным знаком. В качестве примера на рис. 4 показана электронная синтетическая карта проходимости местности боевой техникой вне дорог.

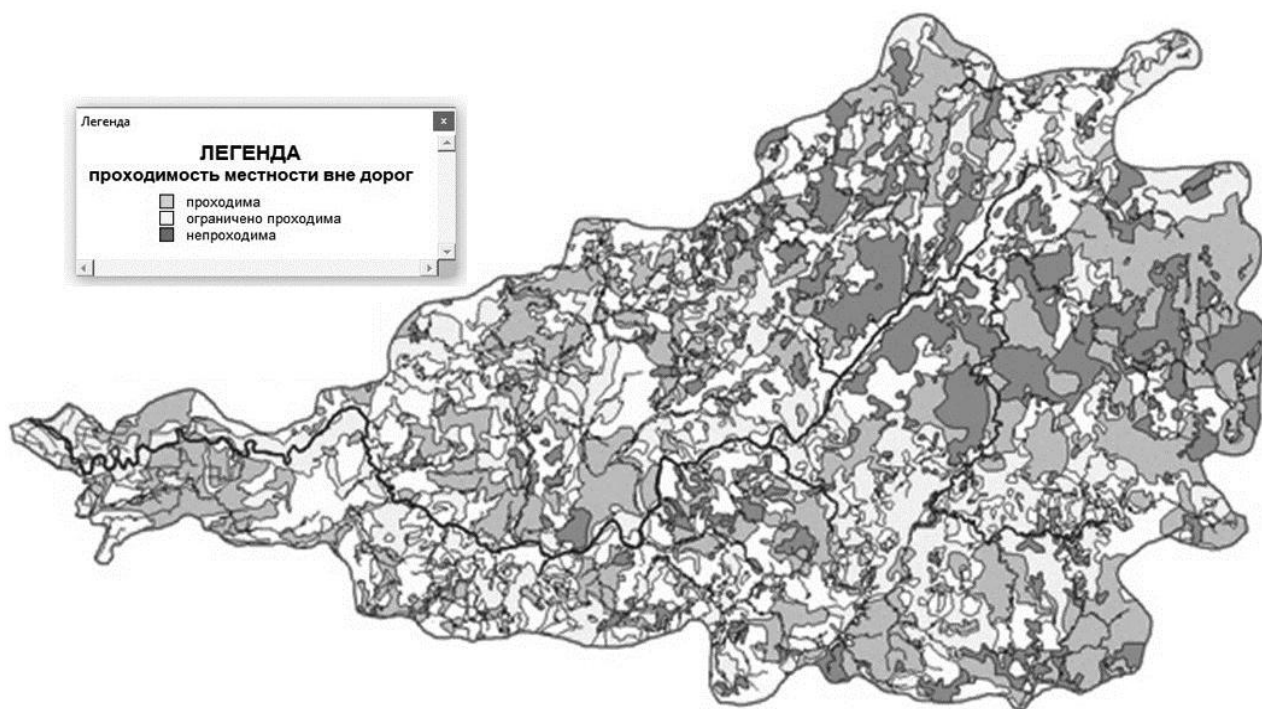


Рис. 4. Синтетическая карта, характеризующая проходимость местности боевой техникой вне дорог

Разработанная авторами методика позволяет оперативно получать информацию, необходимую для принятия решений по управлению войсками и оружием. Заложенные в ее основу научно-методические подходы базируются на исследованиях, проведенных с 2014 года по настоящее время [1–7], о которых не раз заслушивались доклады на множестве всероссийских и международных конференций, где они получили поддержку и одобрение.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на адаптацию разработанной методики создания синтетических карт оперативно-тактических свойств местности различного тематического содержания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущество разработанной авторами методики заключается в том, что ими создан реально действующий механизм создания в среде ГИС электронных синтетических карт оперативно-тактических свойств местности, использование которого обеспечивает повышение качества информационного обеспечения принятия решений по управлению войсками и оружием. При этом исследователь получает возможность, варьируя параметрами состояния компонентов местности прогнозировать изменения ее оперативно-тактических свойств при различных сценариях.

Список используемых источников

1. *Осипов А.Г., Гарманов В.В.* ГИС-технологии при зонировании ландшафтов по пригодности к аграрному освоению // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. научн. тр. СПбГАУ. – СПб., 2018. – Ч. II. – С. 238–243.
2. *Осипов А.Г., Гарманов В.В.* Методика интегральной оценки состояния и устойчивости почв при мониторинге земель природно-аграрных систем // Известия Санкт-Петербургского государственного Аграрного университета. – СПб., 2016. – №43. – С. 293–299.
3. *Осипов А.Г.* Картографическое моделирование трасс трубопроводов в Арктической зоне Сибири / А.Г. Осипов, В.В. Дмитриев, С.А. Масленников, Л.А. Пластинин, В.М. Плюснин // География и природные ресурсы. – 2017. – №1. – С. 16–24.
4. *Осипов А.Г., Ефимов А.Н.* Методика комплексной оценки оперативно-тактических свойств местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, 2014. – Вып. 642. – С. 102–109.
5. *Осипов А.Г.* Интегральная оценка территории с использованием геоинформационных технологий при проектировании трасс линейно протяженных объектов // Калининградский пограничный ин-т ФСБ: научно-практический сб. – 2016. – №1. – С. 119–125.
6. *Осипов А.Г.* Метод геоэкологической оценки ландшафтов в среде ГИС при создании и реконструкции природно-аграрных систем // Информация и Космос: научно-техн. журнал. – СПб., 2016. – №1. – С. 123–130.
7. *Осипов А.Г., Саломатина Ю.В., Дьячкова Д.Л.* Совершенствование подходов к оптимизации содержания картографической информации, используемой для оценки местности в автоматизированных комплексах поддержки принятия решений по управлению войсками // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 647. – С. 105–112.

В.Ф. Алексеев,
доктор техн. наук, доцент;
А.В. Прокофьев,
кандидат техн. наук;
Р-Б.Б. Станиславичюс,
кандидат техн. наук, доцент

РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА МЕТРОЛОГИИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Точность и достоверность измерений различных параметров и характеристик при топогеодезическом и навигационном обеспечении войск являются необходимыми условиями применения маневренных и высокоточных систем оружия, совместного применения различных систем вооружений и военной техники, управления крупными группировками разнородных сил. Для соответствия происходящим изменениям в военном делении необходима современная, научно обоснованная терминология. Геодезическая и картографическая деятельность находится на пересечении правовых полей закона РФ «О геодезии и картографии», регулирующего правовые отношения в области геодезической и картографической деятельности, закона РФ «Об обеспечении единства измерений», относящегося к сфере распространения государственного метрологического надзора и приказа Министра обороны РФ № 3750 от 19 декабря 2012 года по метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации. На современном этапе развития военного дела требования к обеспечению единства измерений значительно возросли.

Ключевые слова: геодезические измерения, нормальный закон распределения результатов измерений, средняя квадратическая погрешность, среднее квадратическое отклонение, выборочное стандартное отклонение, неопределенность измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Основные положения закона РФ «Об обеспечении единства измерений» распространяются практически на все стороны научной и хозяйственной деятельности в стране. Особое место занимают вопросы обеспечения единства измерений в сфере обороны и безопасности страны. За последние годы Международной организацией законодательной метрологии и национальными метрологическими центрами проводится большая работа по развитию понятийного аппарата, соответствующего процессам, происходящим в мировой экономике. Современные, научно обоснованные понятия, термины и определения способствуют достижению единства измерений в международной интеграции средств топогеодезического и навигационного обеспечения. Международные и национальные нормативные документы системы обеспечения единства измерений призваны обеспечивать не только единообразие методов решения измерительных задач, но и соблюдать единство своего содержания на всех уровнях.

МЕТРОЛОГИЯ В ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Точечная оценка результата измерений является величиной случайной и при малом числе наблюдений может не совпадать с точечным значением среднего квадратического отклонения. Производя обработку результатов измерений, геодезисты постоянно сталкиваются с решением определенной метрологической проблемы, так как применяемый математический аппарат разработан для результатов наблюдений, принадлежащих нормальному распределению. При осуществлении геодезической деятельности, когда речь идет о безопасности людей, стратегически важных объектах; применении высокоточного оружия и т. д. качество

измерений дополнительно характеризуется доверительной интервальной оценкой многократных наблюдений, соответствующих закону нормального распределения.

Национальным стандартом ГОСТ Р 8.736-2011 [1] при обработке прямых многократных измерений доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины в соответствии с данным стандартом устанавливают для результатов измерений, принадлежащих нормальному распределению. При большом числе измерений предлагается использовать критерий χ^2 Пирсона или ω^2 Мизеса-Смирнова. При числе измерений $n > 15$ – составной критерий. При числе измерений $n \leq 15$ принадлежность их нормальному распределению не проверяют вообще. В этом случае стандартом определено, что вычисление доверительных границ случайной погрешности допускается только в том случае, если заранее известно, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению.

В геодезической практике наибольшее число измерений $n = 12$ предусмотрено только в триангуляции 2-го класса. Известно, что реальные законы распределения как измерений, так и погрешностей весьма разнообразны и часто далеки от нормального [2]. Таким образом, при осуществлении геодезической деятельности нам точно известно только то, что вид распределения результатов ряда равнооточных наблюдений не известен. Поэтому часто оперируют бездоказательным понятием, что результаты геодезических измерений, как правило, соответствуют нормальному распределению. Следовательно, широко применяемый метод оценки качества измерений является, в определенной степени, некорректным.

В Российской Федерации с 1 января 2015 года введены в действие новые рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-2013 [3]. Приведенные в них термины, обозначения и определения гармонизированы с международными, что направлено на обеспечение единого подхода к оценке качества результатов измерений. Все это способствует взаимному признанию результатов измерений, калибровок, испытаний национальных эталонов единиц величин при международных и ключевых сличениях.

Термины, установленные настоящим документом, следует активно использовать в учебном процессе Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Это важно для специальных кафедр, применяющих средства измерений и занимающихся обработкой результатов измерений как с российскими, так и с иностранными военнослужащими. Это имеет большое значение для показателей качества измерений. Рекомендации по межгосударственной стандартизации ввели следующие новые понятия: вместо средняя квадратическая погрешность – среднее квадратическое отклонение (стандартное отклонение); пункт 5.18 – это параметр функции распределения измеренных значений или показаний, характеризующий их рассеивание и равный положительному корню квадратному из дисперсии этого распределения. Точечной оценкой среднего квадратического отклонения является *выборочное стандартное отклонение* $s(x)$, определяемое по формуле

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=k}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где x_k – k -е измеренное значение или показание в ряду из n значений;

\bar{x} – среднее арифметическое из n измеренных значений или показаний.

Точечной оценкой стандартного отклонения распределения \bar{x} является *выборочное стандартное отклонение среднего арифметического*

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}.$$

Традиционно погрешности разделяются на случайные и систематические. Однако модели погрешностей и формирование доверительных интервалов в разных странах отличаются. Это приводило к определенным трудностям при сличении результатов измерений. Для устранения возникающих разногласий Международным бюро мер и весов с участием национальных метрологических центров в 1992 году был разработан документ, содержащий новую концеп-

цию описания результатов измерений, – «Руководство для выражения неопределенности в измерении». В Руководстве представлен байесовский подход к теории вероятностей, при котором вероятность интерпретируется как мера незнания, а не как объективная случайность [4]. Усиление процесса интеграции России в международное сообщество требует гармонизации стандартов и других нормативных документов, в том числе в области метрологии, калибровки средств измерений, сертификации продукции – для устранения барьеров в торговом, промышленном, научном и культурном обмене и сотрудничестве.

В целях гармонизации национальной и международной терминологии Руководство по выражению неопределенности было принято в качестве национального стандарта Российской Федерации как ГОСТ Р 54500.3–2011. Замена термина «погрешность» на термин «неопределенность» основывается на том, что «истинное значение» не познаваемо и погрешность, как отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины, точно получена быть не может. Неопределенность привязана к измеренному значению и характеризует степень сомнения в истинности полученного результата. Известно, что разрешение противоречия является познавательной деятельностью во всех сферах деятельности, в том числе и в обеспечении единства измерений. Общеизвестно, что все высокоточные средства измерений дополнительно характеризуются неисключенной систематической погрешностью. В этом проявляются сомнения, насколько точно результат измерения представляет значение измеряемой величины.

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Руководстве [3] приведено следующее определение неопределенности измерения: неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации. Неопределенность измерения указывает на то, что для полученного результата измерения нет единственного значения, а есть бесконечное число значений, рассеянных вокруг этого результата. И полученный результат с конкретно принятой доверительной вероятностью может быть приписан измеряемой величине.

Согласно Руководству основными количественными выражениями неопределенности измерения являются: стандартная неопределенность, суммарная стандартная неопределенность и расширенная неопределенность. Понятия «точность измерений» и «неопределенность измерений» являются частью более общего понятия «качество измерений». Эти понятия одного уровня значимости качественно отражают одно из общих свойств измерительного процесса – неизвестность отклонения измеренного значения величины от ее истинного значения. «Прецизионность», «сходимость» и «воспроизводимость» являются качественными характеристиками, указывающими лишь на сам факт наличия разброса показаний в измерительном процессе, и не могут быть самостоятельными числовыми показателями точности измерений. Переход на новую характеристику качества измерений в Российской Федерации начался с национальных эталонов, которые стали определяться не случайной и не исключенной систематической погрешностью, а неопределенностью измерений. Метрологические характеристики высокоточных средств измерений также стали выражаться через неопределенность. Например, основными характеристиками высокоточного баллистического абсолютного гравиметра ГАБЛ-ПМ для полевых работ являются: стандартная неопределенность измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести не более 3 мкГал; неисключенная систематическая неопределенность измерения ускорения силы тяжести не более 5 мкГал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование единого понимания специальной терминологии, связанной с производством измерений и определением их качества, в настоящее время является важной составляющей образовательного процесса в ВКА имени А.Ф. Можайского, особенно для специальных дисциплин. Применение научно обоснованной терминологии формирует фундамент для понимания технической сути термина. Неупорядоченность терминологии затрудняет взаимопонимание между обучаемыми даже на одной кафедре. На значимость современной научно-технической терминологии указывает то, что она сопровождает любое средство измерений, вооружение, военную и специальную технику на всем жизненном цикле, представляя собой важную составляющую научно-технической документации.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – М.: ФГУП Стандартинформ, 2013. – 24 с.
2. *Левин С.В.* Нормативные проблемы метрологии и метрологического обеспечения // Главный метролог. – 2015. – № 4. – С. 16–35.
3. РМГ 29–2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 60 с.
4. *Bich W., Cox M.G., Michotte C.* Towards a new GUM – an update // Metrologia. – 2016. – Vol. 53. – P. 149–159.

Д.С. Войнов

Череповецкое высшее военное инженерное училище
радиоэлектроники, г. Череповец;

С.М. Гурский,

канд. техн. наук, профессор;

К.В. Сазонов,

доктор техн. наук, доцент;

В.В. Уткин,

канд. техн. наук, доцент

Череповецкое высшее военное инженерное училище
радиоэлектроники, г. Череповец

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Представлен подход к измерению в средствах радиотехнического мониторинга временных параметров сигналов радиолокационных станций на основе морфологической обработки результатов частотно-временного преобразования. Описывается разработанная имитационная модель, реализующая данный подход. Представлен график зависимости точности оценки длительности зондирующего сложного сигнала с линейной частотной модуляцией от отношения сигнал/шум.

Ключевые слова: радиолокационные станции, радиотехнический мониторинг, вейвлет-фильтрация, морфологическая обработка.

ВВЕДЕНИЕ

Использование в радиолокационных станциях (РЛС) сложных частотно-модулированных (ЧМ) сигналов с большой базой и с малой пиковой мощностью излучения приводит к низкому отношению сигнал/шум – q (менее нуля децибелл) на входе станции радиотехнического мониторинга [1–10].

В средствах радиотехнического мониторинга потенциальная ошибка измерения временных параметров сложных ЧМ сигналов определяется флуктуациями фронтов измеряемого сигнала. Среднее значение флуктуаций фронтов $\bar{\tau}_{\text{фр}}$ сложного ЧМ сигнала зависит от отно-

шения сигнал/шум, т. е. $q : \bar{\tau}_{\text{фр}} = \frac{\tau_{\text{фр}}}{q}$, где – $\tau_{\text{фр}}$ длительность фронта сложного ЧМ сигнала;

q – отношение сигнал/шум. При этом потенциальную ошибку измерения временных параметров сложных ЧМ сигналов (нижняя граница Рао – Крамера) возможно оценить лишь при отношении сигнал/шум, намного большем нуля децибелл. При малом отношении сигнал/шум (менее нуля децибелл) выделение фронтов сложных ЧМ сигналов становится практически невозможным [1, 2]. В связи с этим возникает противоречие, связанное с необходимостью оценки временных параметров сложных ЧМ сигналов РЛС при отношении сигнал/шум, меньшем нуля децибелл, с одной стороны, и с ограничениями существующих способов оценки временных параметров сигналов, с другой стороны.

Одним из возможных вариантов разрешения данного противоречия является измерение временных параметров с помощью алгоритмов морфологической обработки результатов билинейных частотно-временных преобразований, например, билинейного частотно-временного преобразования Чои – Вильямса (*Choi – Williams*). Использование указанного

класса билинейных преобразований обусловлено тем, что они обеспечивают максимальную концентрацию сигнальной энергии в частотно-временном пространстве [3–11].

Цель исследования – обеспечить возможность автоматической оценки временных параметров сложных ЧМ сигналов в условиях низкого отношения сигнал/шум (менее нуля децибелл) с помощью алгоритмов морфологической обработки результатов билинейного частотно-временного преобразования.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для достижения указанной цели была разработана имитационная модель процесса оценки временных параметров сигналов (на примере длительности импульса), структурная схема которой представлена на рис. 1. Моделирование проводилось в среде Matlab R2016a.

В модуле 1 (рис. 1) генерируется аддитивная смесь $f(t) = s(t) + n(t)$ сложного частотно-модулированного сигнала $s(t)$ и белого гауссовского шума $n(t)$ с единичной дисперсией и нулевым математическим ожиданием. В качестве сложного ЧМ сигнала рассмотрен типовой зондирующий радиоимпульс длительностью $\tau_i = 8$ мкс с линейной частотной модуляцией и прямоугольной формой огибающей (далее – ЛЧМ сигнал).

Использование в качестве примера ЛЧМ сигнала продиктовано следующими его особенностями, выявленными при генерации входных сигналов для разного отношения сигнал/шум [12]: построена зависимость отношения сигнал/шум на выходе устройства обработки ЛЧМ сигнала на базе акустооптического процессора $q_{out} = SNR_{out}$ от отношения сигнал/шум на его входе $q_{in} = SNR_{in}$ (рис. 2). Из анализа полученной зависимости (рис. 2) следует вывод, что отношение сигнал/шум на выходе увеличивается в половину базы ЛЧМ сигнала ($B/2$) раз, что позволяет существенно (при большой базе сигнала) поднять уровень исследуемого сигнала (здесь база ЛЧМ сигнала B равна произведению девиации частоты Δf на длительность импульса T_c : $B = \Delta f \times T_c$).

Таким образом, выигрыш отношения сигнал/шум на выходе акустооптического процессора определяется базой B ЛЧМ радиосигналов и оценивается величиной $\frac{B}{2}$.

Содержание предлагаемого подхода условно разделим на следующие итерации.

Первая итерация (модуль 2) – зашумленный ЛЧМ сигнал $f(t)$ подвергается преобразованию Чои – Вильямса (*Choi – Williams*) $P_{CW}[f(t)] \equiv P_{CW}f(\tau, \omega)$ [11]:

$$P_{CW}[f(t)] \equiv P_{CW}f(\tau, \omega) = \sqrt{\frac{\sigma}{4\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\exp(-i\omega t)}{|t|} \times \\ \times \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(\frac{-(u-\tau)^2 \sigma}{4t^2}\right) f\left(u + \frac{t}{2}\right) f^*\left(u - \frac{t}{2}\right) du dt, \quad (1)$$

где звездочка обозначает операцию комплексного сопряжения, а $\sigma \geq 0$ – масштабный коэффициент. При моделировании значение масштабного коэффициента принимается равным $\sigma=1,6$.



Рис. 1. Структурная схема имитационной модели

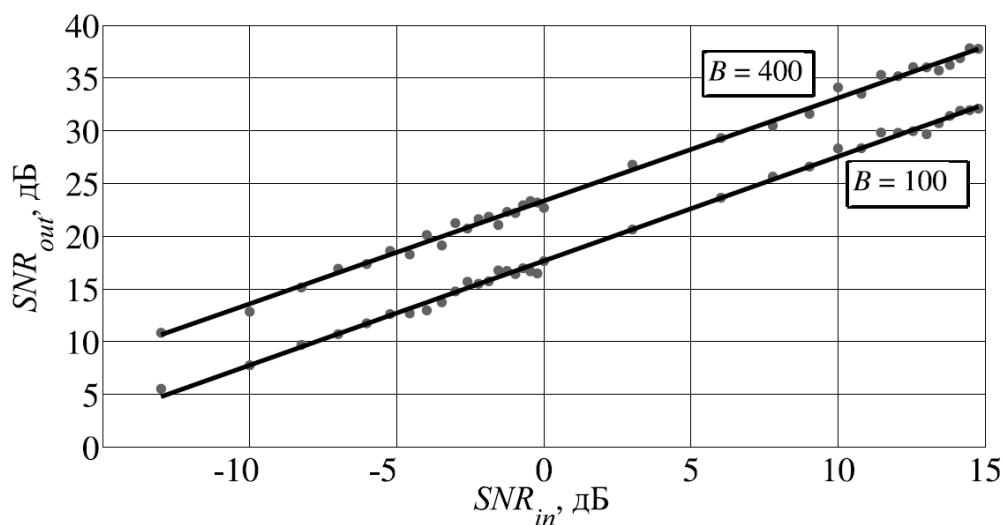


Рис. 2. Выигрыш отношения сигнал/шум на выходе акустооптического процессора: зависимость SNR_{out} от SNR_{in} для ЛЧМ-сигналов с разной базой B

Двумерное графическое представление результатов частотно-временного преобразования (1) определим, как зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени [3–8].

На рис. 3 представлена сформированная зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени при отсутствии шума (рис. 3,а) и при ОСШ минус 4 дБ (рис. 3,б). На рис. 3,б отчетливо видна сигнальная составляющая.

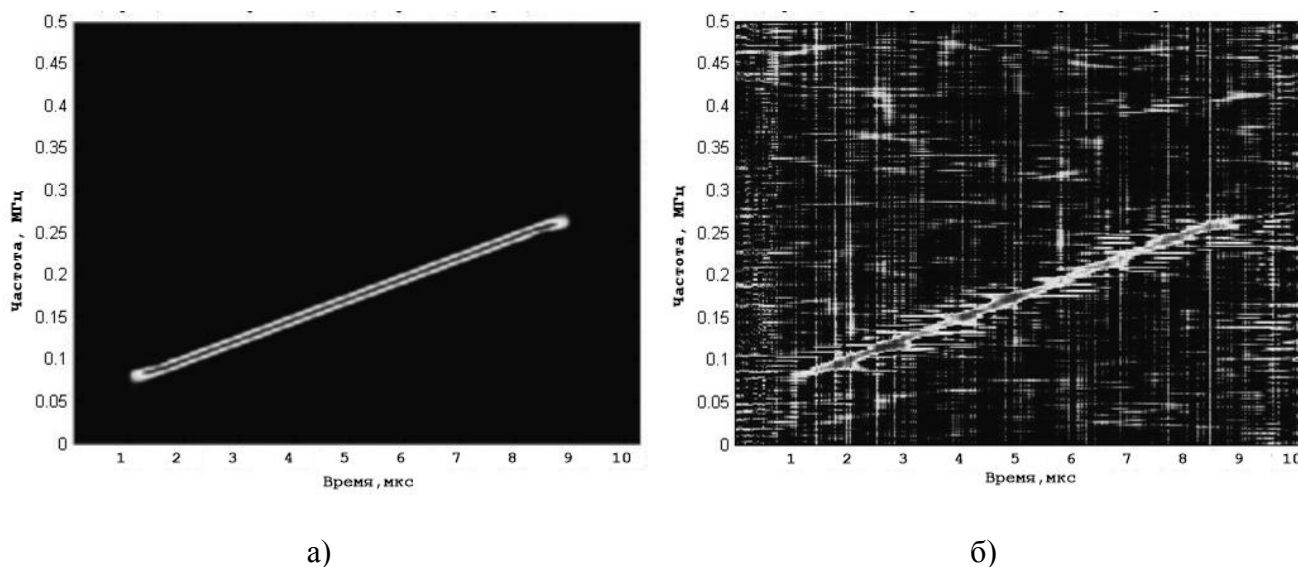


Рис. 3. Зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени при отсутствии шума (а) и при отношении сигнал/шум минус 4 дБ (б)

Вторая итерация – зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени поступает в модуль измерения параметров, структурная схема которого представлена на рис. 4.

Предварительными этапами оценки длительности ЛЧМ сигнала являются процедура шумоподавления с помощью вейвлет-фильтрации (подмодуль 3.1), пороговая обработка (бинаризация) (подмодуль 3.2) и выделение контура сигнальной составляющей с помощью морфологических операций (подмодуль 3.3).

Для выполнения вейвлет-фильтрации использовалась базовая функция Хаара. Сравнительный анализ качества вейвлет-фильтрации зависимостей частоты ЛЧМ сигнала от времени с помощью различных базовых функций проведен авторами в работе [13]. На рис. 5 представлены входные и выходные данные подмодуля 3.1. Как видно из рис. 5,а и 5,б, уровень шумов уменьшился.

После шумоподавления для обеспечения автоматического выделения сигнальной составляющей в подмодуле 3.2 выполняются процедуры пороговой обработки (бинаризации), основанные на алгоритме Отсу (Otsu) [14]. Затем в подмодуле 3.3 осуществляется поиск сигнальной составляющей. Основой данного подмодуля является функция морфологической обработки *bwboundaries* – *Trace region boundaries in binary image* (границы области в двоичном изображении) [14]. На рис. 6 представлена зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени на выходе подмодуля 3.3.

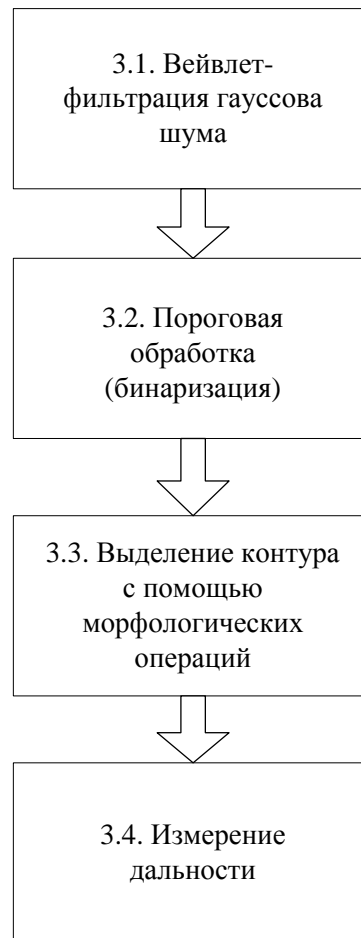


Рис. 4. Структурная схема модуля измерения параметров

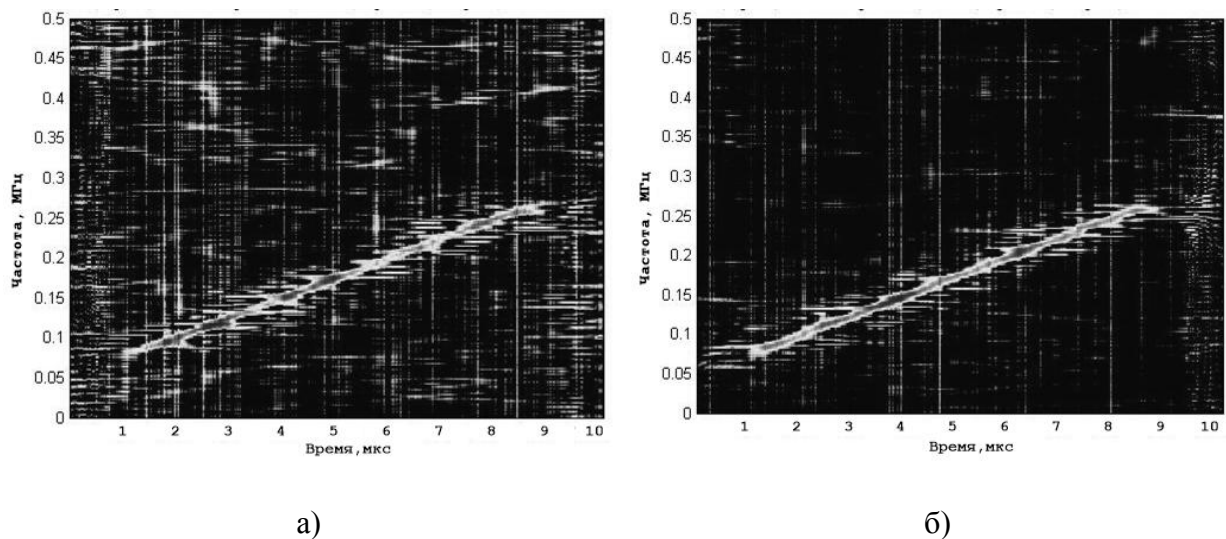


Рис. 5. Зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени при отношении сигнал/шум минус 4 децибелла на входе (а) и выходе подмодуля 3.1 (б)

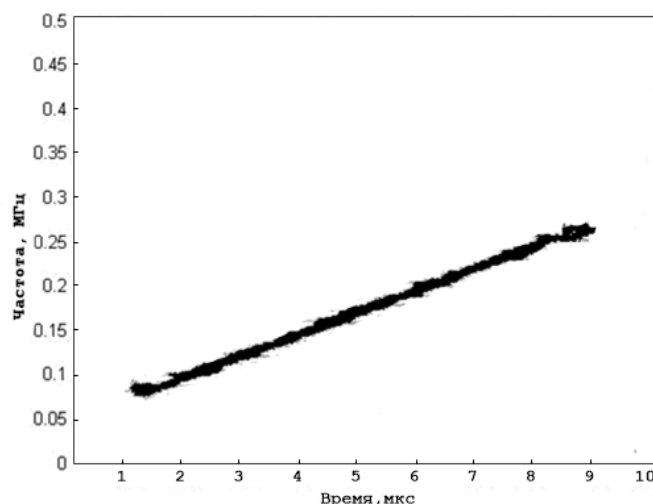


Рис. 6. Зависимость частоты ЛЧМ сигнала от времени на выходе подмодуля 3.3 при отношении сигнал/шум минус 4 дБ

На заключительном этапе вычисляется значение длины проекции выделенной области на ось абсцисс, что соответствует длительности ЛЧМ сигнала (подмодуль 3.4). Относительная погрешность оценки длительности определяется в соответствии с выражением

$$\delta = \frac{|\hat{\tau}_и - \tau_и|}{\tau_и} \times 100\%,$$

где $\hat{\tau}_и$ — оценка длительности ЛЧМ сигнала;

$\tau_и$ — истинное значение длительности ЛЧМ сигнала.

Третья итерация (модуль 4) — результаты измерения подвергаются статистической обработке. На рис. 7 представлен полученный график зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) относительной погрешности оценки длительности ЛЧМ сигнала от отношения сигнал/шум (выход модуля 5).

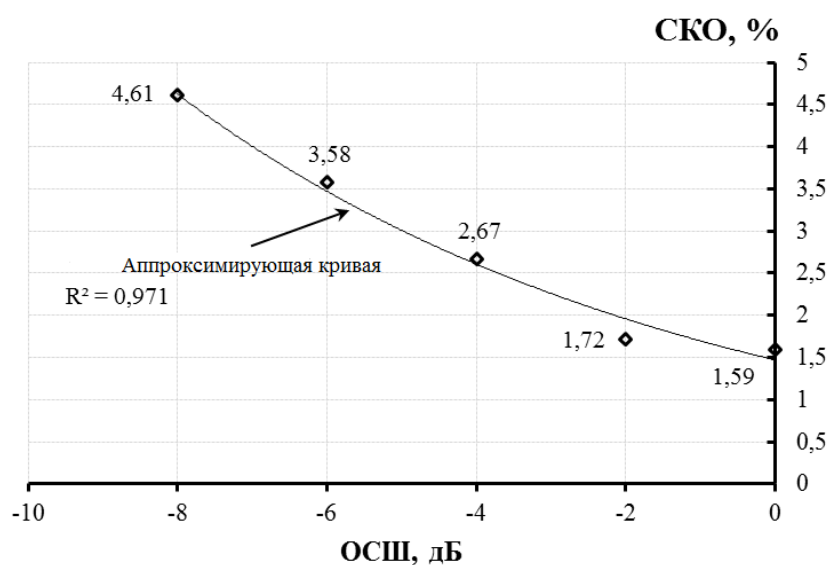


Рис. 7. График зависимости СКО относительной погрешности оценки длительности ЛЧМ сигнала от отношения сигнал/шум

Значения СКО вычислялись по 100 измерениям при каждом значении отношения сигнал/шум в диапазоне от 0 до минус 8 дБ с шагом 2 дБ. При уменьшении значения отношения сигнал/шум ниже минус 8 дБ сигнальную составляющую выделить не удалось. Вычисленные значения СКО аппроксимированы экспоненциальной кривой с величиной достоверности $R^2 = 0,971$.

Результаты моделирования свидетельствуют о работоспособности предложенного подхода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход оценки временных параметров сложных ЧМ сигналов в условиях низкого отношения сигнал/шум (менее нуля децибелл) основан на применении современного математического аппарата вейвлет-фильтрации и морфологической обработки в новой предметной области. Разработанная имитационная модель позволяет обеспечить возможность автоматической оценки временных параметров сложных ЧМ сигналов РЛС в средствах радиотехнического мониторинга. Определена зависимость точности оценки длительности ЛЧМ сигнала от отношения сигнал/шум. Данный подход может применяться для совместной оценки частотных и временных параметров сложных ЧМ сигналов, что позволит решать задачи распознавания РЛС по типам в средствах радиотехнического мониторинга.

Список используемых источников

1. Смирнов Ю.А. Радиотехническая разведка. – М.: Воениздат, 2001. – 456 с.
2. Сверлинг Р. Точность измерения радиолокационных параметров // Справочник по радиолокации: в 4 т. / под ред. М. Скольника; пер. с англ. под общ. ред. К.Н. Трофимова. – Нью-Йорк, 1970. – Т. 1: Основы радиолокации / под ред. Я.С. Ицкохи. – М.: Сов. радио, 1976. – С. 161–175.
3. Обнаружение и анализ сигналов сложной структуры: учебник / под ред. А.И. Замарина. – МО РФ, 1996. – 522 с.
4. Замарин А.И., Марков С.А. Сигналы радиотехнических систем: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2017. – 209 с.
5. Еремеев И.Ю., Замарин А.И. Структурный анализ сигналов со скачками частоты: монография / под ред. А.И. Замарина. – Архангельск: Изд-во Архангельской государственной медицинской академии, 1999. – Ч. 1: Теоретические основы. – 140 с.
6. Еремеев И.Ю. Теоретические основы структурного анализа радиосигналов со сложной частотно-временной структурой: монография. – СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2015. – 226 с.
7. Давыдов С.И., Замарин А.И., Сонников В.Г. Подавление внеполосных помех методом вспомогательных трактов: деп. рукопись. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1974. – 14 л.
8. Давыдов С.И., Замарин А.И. Устройство нелинейного формирования идеальной частотной характеристики с регулируемой полосой и исключением внеполосного приема: деп. рукопись. – Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1974. – 11 л.
9. Пат. 2552180 Российская Федерация, МПК: H03D 7/18 (2006.01). Способ преобразования частоты и преобразователь для его осуществления / Мухин А.И., Еремеев И.Ю., Дикарев В.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» МО РФ. – № 2013128160/08; заявл. 19.06.13; опубл. 10.06.15, Бюл. № 16. – 2 с.
10. Пат. 2231926 Российская Федерация, МПК⁷ H04B 7/08, H04J 13/06. Устройство для контроля работы радиостанций с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты / Дика-

рев В.И., Зайцев И.Е., Замарин А.И., Андреев А.М., Маковский В.Н.; заявитель и патентообладатель Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. – № 2002130566/09; заявл. 14.11.02; опубл. 27.06.04, Бюл. № 18. – 1 с.

11. Преобразование Чои – Вильямса и атомарные функции в цифровой обработке сигналов / В.Ф. Кравченко, О.В. Лазоренко, В.И. Пустовойт, Л.Ф. Черногор // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 413, №6. – С. 1–4.

12. *Зейдлиц А.А.* Акустооптический процессор для сжатия ЛЧМ радиосигналов: дис. магистерск. по направл. 223200.68 – Техническая физика. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический ун-т, Ин-т физики, нанотехнологий и телекоммуникаций, 2014. – 41 с.

13. *Войнов Д.С. Уткин В.В. Плащенко В.В.* Повышение качества частотно-временных портретов радиосигналов при ведении радиотехнического мониторинга // Научные технологии. – 2017. – № 11. – С. 4–8.

14. *Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

А.С. Данилюк,
кандидат военных наук, доцент;
В.М. Медведев,
кандидат техн. наук, профессор;
К.В. Сазонов,
доктор техн. наук, доцент

ОЦЕНИВАНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ ВОЗМОЖНОГО МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ УТРАТЕ ФАКТИЧЕСКОГО КОНТАКТА С НИМИ

Изложен подход к локализации районов нахождения подвижных объектов при ограниченных интервалах наблюдения за их деятельностью.

Ключевые слова: подвижный объект, зона возможного местонахождения объекта, зона неопределенности расположения объекта.

В процессе функционирования подвижные объекты, как правило, изменяют (могут изменять) свое местоположение. Характеристики, определяющие пространственное положение (перемещение) объекта(ов), являются наглядным отражением его (их) совокупных свойств, определяющих место в пространстве состояний, а также возможности применения по назначению или решения поставленных перед ними задач. Настоящее утверждение справедливо в ситуациях, когда выполняется условие принадлежности исследуемого объекта к какой-либо системе как к объекту более высокого уровня. Такое условие является необходимым в силу того, что для определения пространственного положения всегда необходима точка отсчета в выбранной (установленной) системе координат, связанной с анализируемой системой [1].

Всякий объект обладает собственными внутренними пространственными свойствами, от изменения которых зависят пространственные состояния других объектов. Иными словами, изменение состояния объекта, при котором происходит изменение его координат, можно назвать пространственным взаимодействием объекта с другими объектами, что может рассматриваться как обмен собственными пространственными свойствами. Различное пространственное расположение в этих условиях служит для индивидуализации объектов или описания отличия одних от других. При этом информация об объекте, как правило, состоит из трех компонент (рис. 1):

- местоположения в определенной системе координат – x, y, h (географическая компонента);
- атрибутивных данных (состав, принадлежность, площадь объекта, режим функционирования, коэффициент готовности и др.);
- момента времени t , на который положение в системе координат и атрибутивные данные об объекте являются актуальными.

При прогнозировании состояния (местоположения) объекта доступ к всестороннему его описанию не всегда может быть обеспечен. Основываясь на «гипотезе компактности» области признаков, характеризующих одно состояние объекта, задача определения состояний сводится к разделению областей группирования признаков [2].

Пусть искомый объект в пространстве признаков описывается n -мерным вектором, тогда

$$X_{<n>} = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle.$$

Причем компоненты вектора x_i могут описываться непрерывными или дискретными величинами. В последнем случае значение признака может характеризоваться несколькими признаковыми разрядами, которые в бинарном виде представляются символами аддитивного (0,1) или мультипликативного (1, -1) описания.

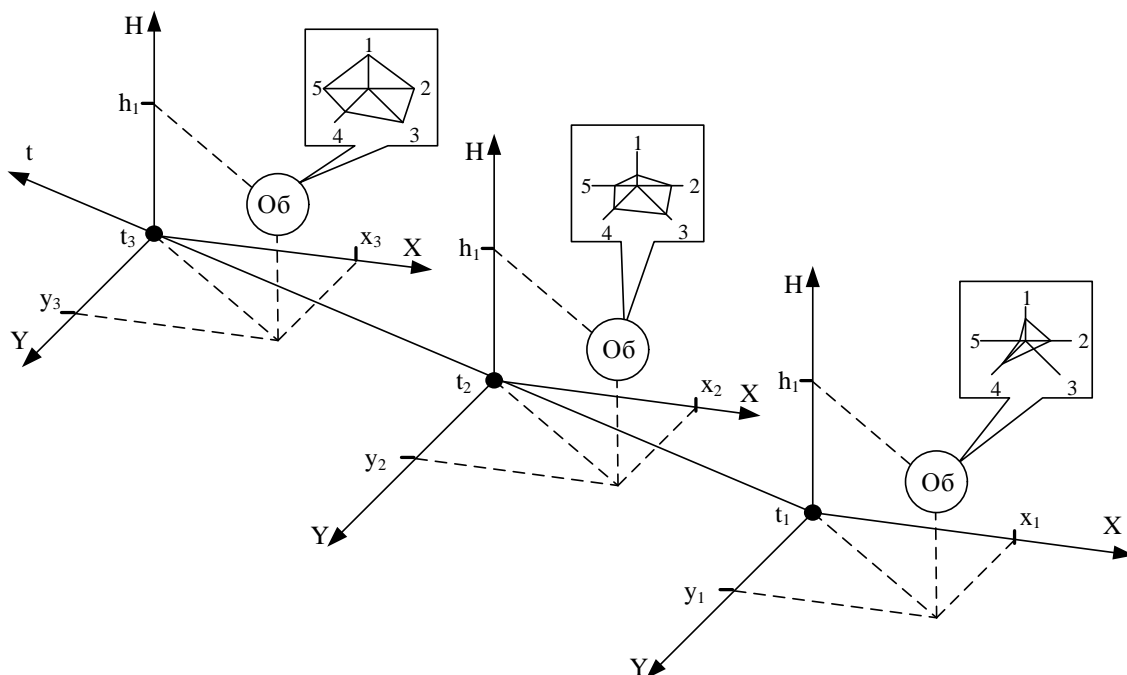


Рис. 1. Положение объекта:

1 – состав; 2 – принадлежность; 3 – площадь объекта;
4 – режим функционирования; 5 – коэффициент готовности

В пространстве состояний объект может описываться вектором $Z_{\langle m \rangle}$, размерность которого в общем случае может отличаться от размерности вектора в пространстве признаков, причем под координатами пространства состояний понимаются функции связи векторов этих пространств вида

$$Z_{\langle m \rangle}^{(m)} = \varphi_m \{X_{\langle n \rangle}\}.$$

Полагая, что наблюдение за объектом осуществляется в метрическом пространстве признаков, а функции связи пространств установлены (заданы), имеется возможность перенести результаты разделения областей группирования признаков для каждого состояния на пространство состояний объекта. В описанных условиях распознавание состояния объекта сводится к отысканию ближайшего эталонного состояния к предъявленному для распознавания по минимальному расстоянию в выбранном метрическом пространстве [2].

Обобщенным вариантом представления расстояния является евклидово расстояние

$$e(x^{(1)}, x^{(2)}) = \sqrt{(x_1^{(1)} - x_1^{(2)})^2 + (x_2^{(1)} - x_2^{(2)})^2 + \dots + (x_n^{(1)} - x_n^{(2)})^2}.$$

Наиболее часто используется квадратичная мера расстояния

$$e^2(x^{(1)}, x^{(2)}) = \sum_{j=1}^n (x_j^{(1)} - x_j^{(2)})^2.$$

При этом алгоритм принятия решения в изотропном однородном пространстве признаков в пользу распознавания «первого» состояния при альтернативности «второго» достаточно прост $e^{2(1)} - e^{2(2)}$, в общем случае $e^{2(1)} - e^{2(2)} \geq \epsilon$, где ϵ – порог принятия решения.

Обобщенное расстояние в признаковом пространстве порядка μ задается выражением

$$e_{(\mu)}(x^{(1)}, x^{(2)}) = \left(\sum_{j=1}^n |x_j^{(1)} - x_j^{(2)}|^\mu \right)^{\frac{1}{\mu}}.$$

В неизотропном пространстве признаков, а условия состояния наблюдаемого объекта соответствуют именно ему (единицы измерения компонентов различны: состав объекта, географические координаты, степень готовности к выполнению поставленных задач и т. п.), для отыскания расстояния вводятся весовые коэффициенты λ_j по каждому компоненту вектора признаков, тогда

$$e^2(x^{(1)}, x^{(2)}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 (x_j^{(1)} - x_j^{(2)})^2.$$

С помощью компонентов весового вектора можно учесть ценность признака для распознавания и учесть его размерность.

Значения компонентов весового вектора характеризуют вид признакового пространства следующим образом:

- если для всех состояний $\lambda_{ij} = \lambda_i, (i=1, 2, \dots, n)$, то выбрано неизотропное однородное пространство;
- если $\lambda_{ij} \neq 1$, то имеет место неизотропное, неоднородное пространство;
- если $\lambda_{ij} = \lambda_j = 1$, то имеет место признаковое пространство изотропное и однородное.

Часто оказывается целесообразным принять:

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{\sigma_{ij}},$$

где σ_{ij} – среднеквадратическое отклонение j -го признака для i -го верифицированного состояния. В этом случае величина λ_{ij} имеет следующий смысл: чем меньше рассеяние признака по объектам, тем больше его распознающее значение (так называемый дисперсионный критерий ценности признаков [3]).

Поясним процедуру оценивания состояния объекта на следующем примере дискретного представления признаков состояния.

Пусть состояние объекта может соответствовать одному из трех вариантов эталонных двенадцати разрядных аддитивных бинарных описаний признаков:

$$\begin{aligned} X_{<12>}^{(1)} &= < 101110001101 >; \\ X_{<12>}^{(2)} &= < 100010011011 >; \\ X_{<12>}^{(3)} &= < 011000110001 >. \end{aligned}$$

Для идентификации состояния объекта предъявлен вектор признаков

$$X_{<12>}^* = < 010101110001 >.$$

Идентификацию состояния проведем путем оценивания величин линейного расстояния (в рассматриваемых условиях по Хеммингу) e_1 и квадратичного расстояния e_2 :

$$\begin{aligned} e_1^{(1)} &= 9; & e_1^{(2)} &= 8; & e_1^{(3)} &= 3; \\ e_2^{(1)} &= 81; & e_2^{(2)} &= 64; & e_2^{(3)} &= 9. \end{aligned}$$

Тогда вероятность правильного распознавания состояния объекта, определяемая выражением

$$\xi^{(i)} = \frac{1/e(i)}{\sum_{s=1}^m \frac{1}{e^{(s)}}},$$

для рассматриваемых описаний признаков состояния будет определяться значениями:

$$\begin{aligned} \xi_1^{(1)} &= 0,195; & \xi_1^{(2)} &= 0,22; & \xi_1^{(3)} &= 0,585; \\ \xi_2^{(1)} &= 0,087; & \xi_2^{(2)} &= 0,115; & \xi_2^{(3)} &= 0,799. \end{aligned}$$

Из анализа результатов следует, что в процессе идентификации выявляется третье состояние с вероятностью правильного распознавания $\xi_1^{(3)} = 0,585$ по линейному расстоянию и $\xi_2^{(3)} = 0,799$ по квадратичному, что подтверждает обоснованность использования квадратичной характеристики близости к эталону.

Очевидно, что перемещение подвижного объекта, как правило, приводит к потере контакта с ним и требует повторения процедур поиска и распознавания его атрибутов. При этом каждое перемещение подвижного объекта, после которого он не был обнаружен, повышает степень неопределенности не только его местоположения, но и границ района, в пределах которого он может находиться (рис. 2).

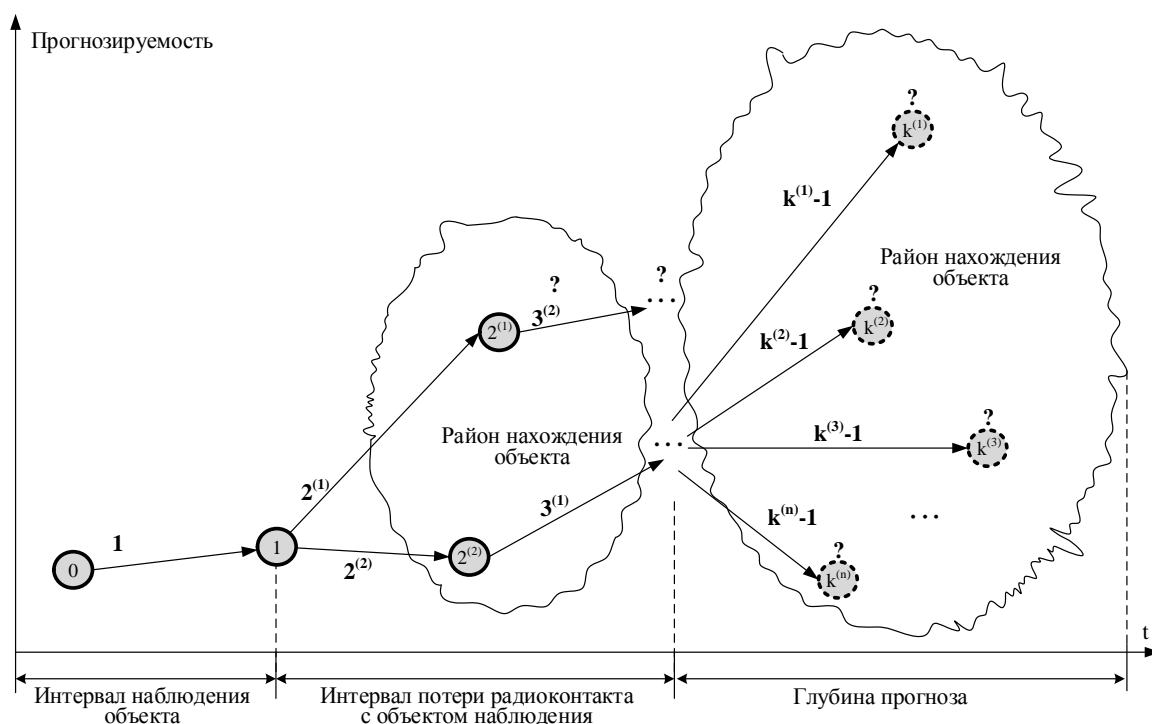


Рис. 2. Графическая интерпретация прогнозирования размеров зоны нахождения подвижного объекта

Для повышения результативности прогнозирования местоположения подвижного объекта с которым был утрачен контакт предлагается способ решения данной задачи.

Если в исходный момент радионаблюдения излучающих средств мобильный объект находится в точке O с координатами $(0;0)$, совмещенной с началом координат локальной системы, то за время потери контакта $T_{\text{утр}}$, объект может совершить k перемещений

$$k = \begin{cases} \left\{ \frac{T_{\text{утр}}}{M[\hat{t}_1]} \right\}, & \text{при } \text{ost} < 0,5, \\ \left\{ \frac{T_{\text{утр}}}{M[\hat{t}_1]} \right\} + 1, & \text{при } \text{ost} \geq 0,5, \end{cases}$$

где $T_{\text{утр}}$ — интервал между радиоконтактами с подвижным объектом;

$M[\hat{t}_1]$ — среднее время между перемещениями подвижного объекта;

ost — остаток от выражения в скобках $\left\{ \frac{T_{\text{утр}}}{M[\hat{t}_1]} \right\}$.

Таким образом, максимальное расстояние r_{\max} , на которое может переместиться подвижный объект за время $T_{\text{утр}}$, составит

$$r_{\max} = M[\hat{r}_1] k = M[\hat{r}_1] \left\{ \frac{T_{\text{утр}}}{M[\hat{t}_1]} \right\}, \quad (1)$$

где $M[\hat{r}_1]$ – нормативное (среднее) расстояние смещения за одно перемещение подвижного объекта.

Пусть точка размещения подвижного объекта с координатами (x, y) равномерно располагается в пределах полукруга (направление преимущественного перемещения), полученного из круга радиусом

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2},$$

и центром в начале координат (рис. 3).

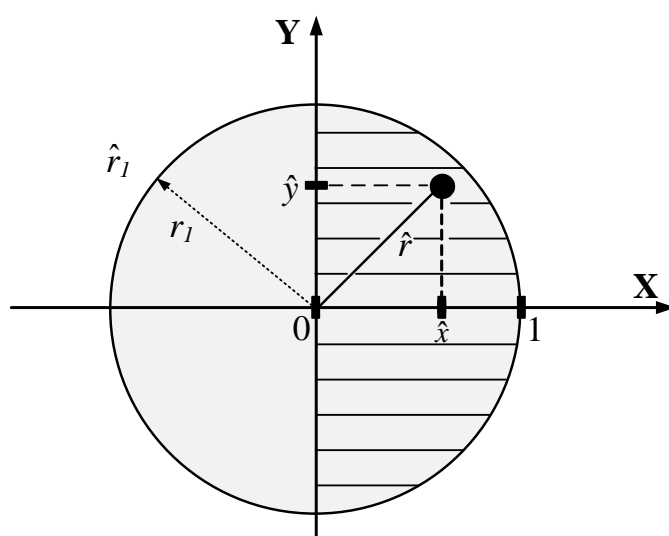


Рис. 3. Определение положения объекта при равномерном законе распределения координат

Тогда закон распределения возможных координат подвижного объекта за одно перемещение описывается выражением [3]

$$W_{\hat{x}, \hat{y}}^{(1)}(x, y) = \begin{cases} \frac{2}{\pi r_1^2}, & \text{при } \langle x, y \rangle \in \langle x_1, y_1 \rangle, \\ 0, & \text{при } \langle x, y \rangle \notin \langle x_1, y_1 \rangle, \end{cases}$$

а за k перемещений точка размещения подвижного объекта равномерно распределена внутри полукруга радиусом r_{\max} , т. е.

$$W_{\hat{x}, \hat{y}}^{(k)}(x, y) = \begin{cases} \frac{2}{\pi r_{\max}^2}, & \text{при } \langle x, y \rangle \in G_{r_{\max}}, \\ 0, & \text{при } \langle x, y \rangle \notin G_{r_{\max}}, \end{cases}$$

где $G_{r_{\max}}$ – полукруг, соответствующий кругу радиуса r_{\max} , с центром в начале локальной системы координат.

Таким образом, степень неопределенности при поиске точки размещения подвижного объекта внутри полукруга, соответствующего радиусу круга r , после утраты радиоконтакта на время $T_{\text{утр}}$ будет определяться вероятностью нахождения подвижного объекта внутри полукруга радиусом r :

$$P_{\hat{r}}(r) = \iint_{G_r} W_{\hat{x}, \hat{y}}^{(k)}(x, y) dx dy = \begin{cases} 0, & \text{при } r = 0, \\ \frac{r^2}{r_{\max}^2}, & \text{при } 0 < r < r_{\max}, \\ 1, & \text{при } r \geq r_{\max}. \end{cases}$$

Выражение для расчета вероятности $P_{\hat{r}}(r)$ можно представить, используя геометрическую трактовку понятия вероятности, как [3]

$$P_{\hat{r}}(r) = \frac{\text{mes} G_r}{\text{mes} G_{r_{\max}}}.$$

С учетом последнего выражения степень неопределенности пространственного поиска переместившегося объекта характеризуется законом распределения случайной величины \hat{r} , который описывается выражением вида

$$W_{\hat{r}}(r) = \begin{cases} 0, & \text{при } r = 0, \\ \frac{2r}{r_{\max}^2}, & \text{при } 0 < r < r_{\max}, \\ 0, & \text{при } r \geq r_{\max}, \end{cases}$$

а иллюстрирующий ее график представлен на рис. 4 [4].

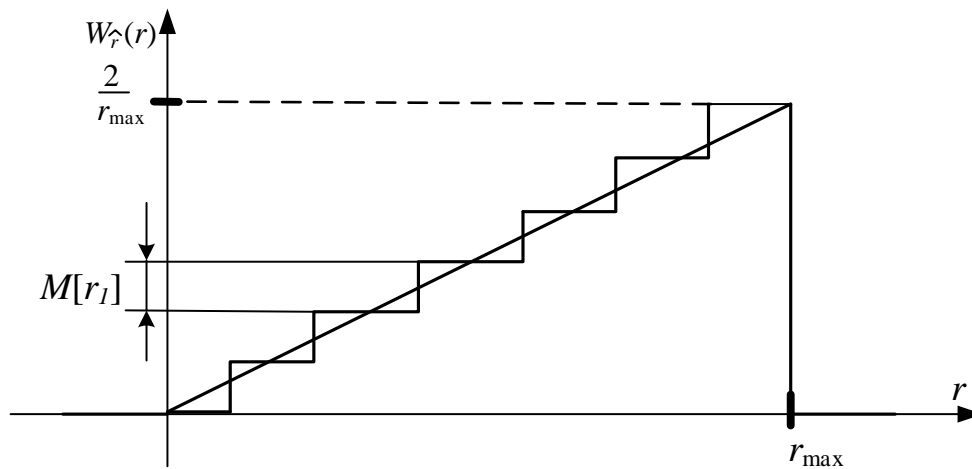


Рис. 4. Распределение случайной величины \hat{r}

В силу того что r_{\max} определяется продолжительностью утраты контакта (1), средним расстоянием за одно перемещение контролируемого объекта и средним временем между соседними перемещениями, неопределенность поиска может быть оценена из закона распределения r , выраженного через относительное время $M[\hat{r}_l]$ утраты контакта с контролируемым объектом и через число перемещений $M[\hat{r}_l]$.

Пример. Пусть ведется наблюдение за объектом, который осуществляет перемещение равномерно с остановками на некоторое время. Пусть также с контролируемым объектом был потерян контакт на 24 часа, за это время он осуществил шесть перемещений.

Тогда $r_{\max} = 6 r_l$, что графически представлено на рис. 5.

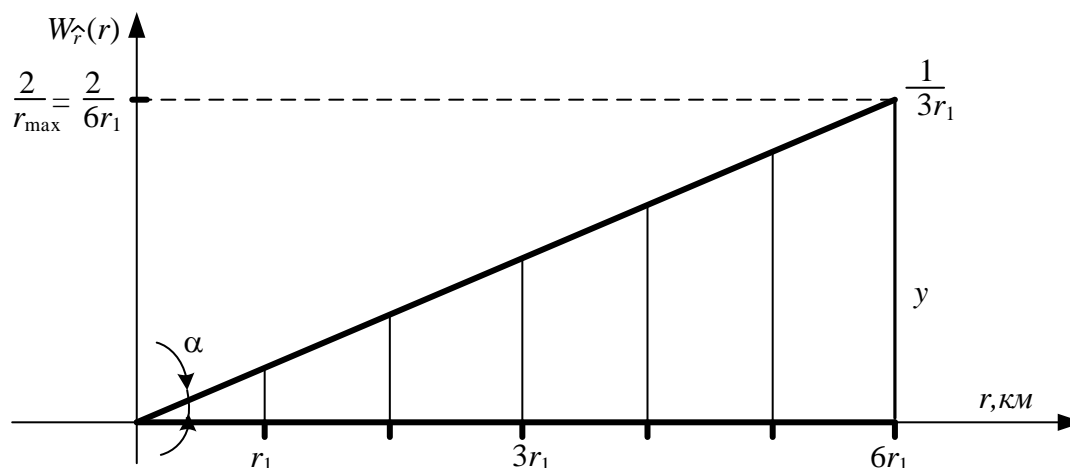


Рис. 5. Аппроксимированное представление закона плотности распределения характеристики перемещения объекта

Для описания линейной аппроксимации закона распределения величины r характеристику угла ее наклона можно вычислить как

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{W_r(r)}{r} = \frac{\frac{1}{3r_1}}{\frac{6r_1}{18r_1^2}} = \frac{1}{18r_1^2}.$$

Тогда окончательно закон распределения \hat{r} описывается выражением

$$W_r(r) = \frac{1}{18r_1^2} r.$$

Вероятность нахождения объекта, с которым был утрачен контакт в полукруге радиусом r , вычисляется по формуле

$$P_r(r) = \frac{r}{2} W_r(r).$$

Кроме того, можно рассчитать вероятность расположения объекта в заданном сегменте полукруга, используя обозначение

$$P_r((k-1)r_1 \leq r \leq kr_1).$$

Результаты расчетов вероятности местонахождения объекта, вычисленные при условии, что $r_1 \approx 2$ км, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета размеров зон местонахождения объекта и вероятности этих событий

k	r , км	$W_r(r), \frac{1}{\text{км}}$	$P_r(r)$	S , км ²	$P_r((k-1)r_1 \leq r \leq kr_1)$	$S_{\text{сегм.}}, \text{км}^2$
1	2	0,028	0,028	6,28	0,028	6,28
2	4	0,056	0,11	25,12	0,082	18,84
3	6	0,083	0,25	56,5	0,14	31,4
4	8	0,111	0,44	100	0,19	44
5	10	0,139	0,69	157	0,25	56,5
6	12	0,167	1	226,8	0,31	69

Графическая интерпретация расчетов и полученные результаты представлены на рис. 6 и 7.

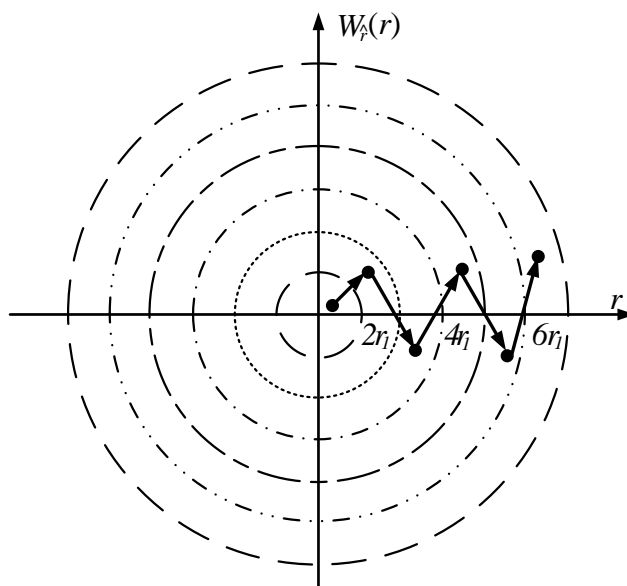


Рис. 6. Графическая интерпретация расчетов площади, характеризующих вероятности пребывания объекта в зоне неопределенности

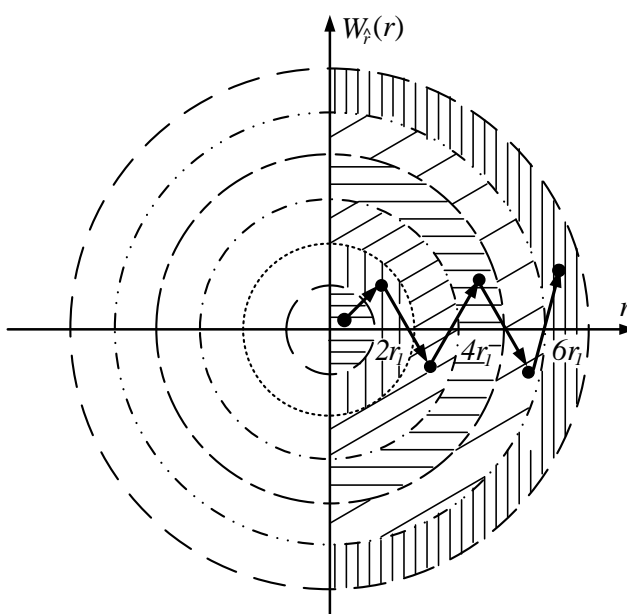


Рис. 7. Графическая интерпретация расчетов, характеризующих вероятности пребывания объекта в зоне неопределенности фиксированной площади

Анализ представленных результатов позволяет существенно уменьшить (приблизительно в 3 раза) размеры зоны неопределенности поиска объектов, с которыми утрачен фактический контакт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В вооруженных силах иностранных государств идет процесс, направленный на приведение возможностей воинских формирований в соответствие с требованиями к ведению боевых дей-

ствий в современных условиях. Создаются «модульные» соединения, обладающие высокой степенью боевой готовности и, как следствие, высокой мобильностью.

2. Особенности функционирования средств связи пунктов управления и радиотехнического обеспечения, связанные маневром частотным диапазоном, использованием направленных свойств радиоизлучений, вида, мощности, длительности и периодичности радиосигналов, выделяют их на общем фоне радиоэлектронной обстановки. С учетом того, что радиоэлектронные средства связи пунктов управления размещаются непосредственно на самих пунктах управления различного уровня, система связи с точки зрения наблюдения является наиболее информативной.

3. Использование изложенных в статье результатов исследования обеспечивает решение задач, к которым относятся:

- оценивание состояния, деятельности и намерений наблюдаемого объекта (группы объектов);
- обнаружение и привязка к координатной сети местоположения объекта (группы объектов);
- выявление факта изменения местоположения, маневрирования объекта (группы объектов) на местности;
- обучение и самообучение подсистемы обработки информации [составление и уточнение эталонных моделей объекта (группы объектов), их состояний и деятельности] и др.

Список используемых источников

1. *Данилюк А.С.* Методика оценивания эффективности систем мониторинга // Сборник трудов молодых ученых академии. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. – Вып. 2. – С.235–248.
2. *Биргер И.А.* Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
3. Теоретические основы прикладной кибернетики / под общ. ред. Р.М. Юсупова. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1976. – Вып. 3: Вероятностные методы в прикладной кибернетике. – 424 с.
4. *Данилюк А.С., Бережной И.В., Медведев В.М.* Оценивание результатов прогнозирования при радиомониторинге местоположения подвижных объектов // Естественные и технические науки. – 2016. – №6 (96). – С.153–157.

К.О. Гнидко,
доктор техн. наук;
С.А. Макаров;
А.С. Сергеев

МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦЕЛЯХ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБУЧАЮЩИХСЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ МИНОБОРОНЫ РОССИИ И ЗАЩИТЫ ОТ НЕГО

Предлагается модель интеллектуальной системы поддержки принятия решений в целях выявления негативного информационно-психологического воздействия на обучающихся образовательных организаций Минобороны России и защиты от него в условиях использования различных источников укоренившейся информации.

Ключевые слова: интеллектуальная система поддержки принятия решений, база выявления знаний, информационно-психологическое воздействие.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информатизации образовательной деятельности характеризуется полномасштабным внедрением в образовательных организациях информационных систем, которые охватывают практически все сферы их деятельности, включая управление учебным процессом. В то же время модели выявления негативного информационно-психологического воздействия (ИПВ) на обучающихся и защиты от него развиты недостаточно, они основаны на наблюдении за обучающимися. Это зачастую носит субъективный характер и не позволяет с достаточной достоверностью выявить негативное воздействие и принять решение о проведении организационных и технических мероприятий по противодействию ему. Данное противоречие приводит к необходимости определить внедрение систем для выявления негативного информационно-психологического воздействия на обучающихся как важнейшее направление развития информационных технологий в военной образовательной организации.

Таким образом, внедрение систем, основанных на знаниях, в процесс выявления и защиты обучающихся от негативного ИПВ является необходимой, важной и, несомненно, актуальной задачей. Для решения указанной задачи предлагается использовать модели с элементами искусственного интеллекта.

ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ И СВОЙСТВАМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РЕШЕНИЙ

Способность системы к «пониманию» проблемы, ее решению и объяснению полученного решения является главной особенностью систем поддержки принятия решений, основанных на знаниях. Эта способность достигается введением в систему специальным образом организованных описаний знаний эксперта о принятии решений – базы знаний (БЗн).

Компоненты систем поддержки принятия решений представлены на рис. 1.

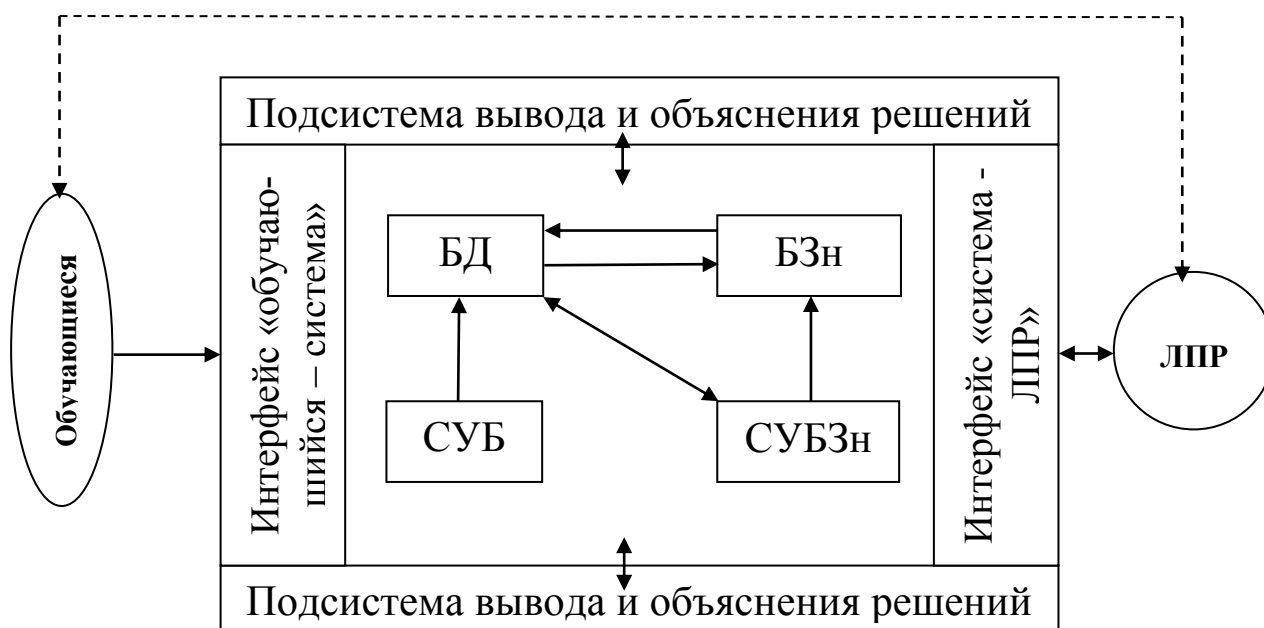


Рис. 1. Компоненты системы поддержки принятия решений

Указанные элементы интеллектуальной системы поддержки принятия решений (далее – ИСППР) должны решать следующие задачи.

Интерфейс «решатель – лицо принимающее решение (ЛПР)» осуществляет организацию диалога с пользователем в виде, удобном для ЛПР; ввод запроса на выработку решения, данных, необходимых для решения задачи, выдачу полученного решения и объяснение его.

СУБД – ведение БД ИСППР. Она должна обеспечивать создание и изменение логической структуры БД, введение, корректировку и удаление конкретных значений хранимых элементов, а также поиск и выдачу необходимой информации по запросу «решателя».

СУБЗн – ведение БЗн ИСППР. Она должна обеспечивать накопление и описание новых знаний, их просмотр и корректировку, удаление знаний, их синтаксический и первичный семантический контроль, а также доступ к необходимым знаниям при выработке решения.

Подсистема вывода и объяснения решения – выработку решений по запросу ЛПР путем манипулирования со знаниями, хранящимися в БЗн, а после завершения вывода – объяснение полученного решения.

БАЗОВАЯ И РАСШИРЕННАЯ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБУЧАЮЩИХСЯ И ЗАЩИТЫ ОТ НЕГО

СИИ могут применяться в выявлении негативного ИПВ и защиты от него в следующих основных направлениях [1]:

- СИИ в поддержке принятия решений в области управления защитой обучающихся от негативного ИПВ;

- СИИ в области поддержки принятия решений в целях защиты обучающихся от негативного ИПВ и выявления обучающихся, подвергшихся негативному ИПВ.

Применение ИСППР в выявлении обучающихся, подвергшихся негативному ИПВ, и защиты от него сводится к принятию управленческих решений на основании обработки статистических данных (состав семьи, группа профессионально-психологического отбора,

отношение к религии, успеваемость обучающихся и т.п.) и динамических (модели поведения обучающихся).

Современная военно-политическая обстановка характеризуется следующими особенностями:

- коротким промежутком времени, предоставляемым сотруднику образовательной организации на принятие решения в сфере его компетенции;
- негативными последствиями как для конкретного обучающегося, так и для образовательной организации в целом, возникшими из-за неверных или несвоевременных решений, вырабатываемых лицом, принимающим решение.

Поэтому на ИСППР должны быть возложены следующие функции:

- анализ и обобщение данных об обучающихся;
- слежение за состоянием обучающихся;
- выявление признаков негативного ИПВ;
- обеспечение взаимодействия работников организации в процессе подготовки принимаемого решения;
- выработка вариантов решений по защите от ИПВ;
- определение признаков усиления негативного ИПВ;
- контроль выполнения решений.

Необходимо отметить, что применение ИССПР оправданно при принятии решений о применении дорогостоящих технических средств защиты и противодействия негативному ИПВ.

Процесс выработки рационального варианта действий работников образовательной организации значительно затрудняется наличием перечисленных особенностей. В таком случае обращение к системе, основанной на знаниях (СОЗ), включенной в состав информационной системы защиты от негативного ИПВ, позволяет оперативно получить рекомендации по действиям в случае выявления негативного ИПВ, заблаговременно апробированные и хранимые в базе знаний (БЗн) СОЗ. Тогда базовая модель ИСППР в целях выявления негативного информационно-психологического воздействия на обучающихся образовательных организаций Минобороны России и защиты от него имеет вид

$$MPP = (R, P, A, PR, VR),$$

- где
- R – распознавание воздействия;
 - P – прогнозирование возможных исходов ситуации;
 - A – получение альтернативных решений;
 - PR – установление отношений предпочтения на множестве альтернативных решений на основе проведенного анализа;
 - VR – выдача рекомендаций сотруднику организации.

При этом для принятия управленческих решений ИСППР должна представлять собой информационную систему, обеспечивающую заблаговременную формализацию задач оценки состояния обучающихся и выработки рекомендаций по дальнейшим действиям, а также выработку в масштабе времени, близком к реальному, решений указанных задач.

Кроме базовой модели предлагается также расширенная модель

$$MPP = (R, P, A, PR, VR, DB),$$

которая включает дополнительный блок – DB , обеспечивающий выполнение следующих функций:

- заблаговременного формирования баз знаний путем накопления и автоматической обработки знаний (экспертной информации) о признаках негативного ИПВ;
- автоматической корректировки базы знаний, связанной с уточнением экспертной информации в процессе эксплуатации ИСППР;

- автоматического выявления некорректности и противоречий экспертной информации и выдачи их эксперту в удобном для анализа виде с целью их устранения;
- автоматической настройки на работу с предметной областью, соответствующей решаемой в текущий момент времени задаче;
- выработки обоснованных решений расчетных задач на основе исходной информации о текущей ситуации, как полной, так и неполной;
- формирования объяснения результатов логического вывода решений задач;
- автоматизации процессов, предусматривающих обработку информации в сжатые сроки;
- рационального совмещения деятельности работников организации и работы средств автоматизации;
- адаптации к имеющемуся в наличии ресурсу времени;
- обработки информации, поступающей от различных источников.

Отметим следующие области деятельности работников образовательной организации, где применение ИСППР, по нашему мнению, является целесообразным:

- анализ засоренности сознания обучающихся и определение тенденций его развития;
- обоснование предложений по организации защиты обучающихся от негативного ИПВ;
- обоснование перспективных методов выявления и защиты обучающихся от негативного ИПВ;
- отработку применения перспективных ИСЗ и отдельных средств управления выявлением и защитой от ИПВ.

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОТ НЕГАТИВНОГО ИПВ

Можно выделить факторы, препятствующие разработке и внедрению ИСППР в систему информационного противоборства. При определенных условиях они могут иметь преобладающее значение.

Первая группа – факторы субъективного характера. Они связаны с негативным отношением многих разработчиков ИС к проблеме ее интеллектуализации. К ним можно отнести [2]:

- недоверие разработчиков и заказчиков традиционных компонентов ИС к термину «искусственный интеллект» и, следовательно, отрицание исследований, проводимых в этой области, а также некоторое непонимание сущности этих исследований;
- слабую подготовку разработчиков в области теоретических и практических достижений в ИИ, что часто препятствует правильному проведению исследований и получению требуемого результата, а иногда делает их невозможными;
- желание разработчиков достичь быстрого результата без длительного и глубокого анализа сущности решаемой проблемы и обоснования необходимости использования технологий ИИ.

Вторая группа – факторы, связанные с современным состоянием развития теории ИИ и практики создания системы «электронный ВУЗ» в образовательных организациях. К этим факторам относятся:

- низкий уровень автоматизации военных образовательных организаций в целом (осуществляется в первую очередь разработка систем, обеспечивающих внутреннее функционирование отдельных структурных подразделений);
- наличие большого количества литературы по ИИ и сложившееся мнение, что все вопросы ИИ уже решены;
- оторванность теоретиков в области ИИ от практических проблем информационного противоборства.

Третья группа факторов – факторы, определяющие сложности внедрения ИСППР:

- необоснованные попытки внедрения ИСППР в тех областях, для которых применение интеллектуальных систем преждевременно или вообще не оправданно;
- отождествление поисковых и информационно-справочных систем с системами искусственного интеллекта.

Четвертая группа факторов – факторы, определяющиеся сложностью процесса построения ИСППР, обусловленной необходимостью:

- разработки модели и языка представления знаний о процессе принятия решения;
- разработки алгоритмов вывода решения для созданных модели и языка представления знаний;
- проектирования структуры диалога;
- разработки способа объяснения решения;
- проведения синтаксического и семантического контроля вводимых элементов знаний;
- поиска противоречий и неполноты в базе знаний;
- согласования работы всех компонент ИСППР;
- поддержания «открытости» и адаптивности ИСППР;
- автоматизации приобретения и обработки знаний.

Пятая группа факторов – факторы, связанные с составлением базы экспертных знаний. Ее полнота, адекватность и непротиворечивость обеспечат своевременное и доказательное принятие решений. В этой связи требуется определить основные требования к СУБЗн, которая должна обеспечить:

- уменьшение времени на разработку и повышение качества ИСППР за счет сосредоточения усилий на решении прикладной задачи, вследствие устранения необходимости разработки основных компонент ИСППР;
- поддержание открытости БЗн ИСППР, т. е. возможности вносить коррективы в БЗн без перепрограммирования отдельных блоков ИСППР, что существенно облегчает труд пользователей и увеличивает сроки эксплуатации конечного продукта;
- возможность адаптации знаний, на которых основана ИСППР, к конкретному пользователю;
- возможность создания «быстрых прототипов» ИСППР.

Кроме того, СУБЗн должна обладать следующими полезными свойствами:

- адекватностью методов представления внешних (ориентированных на пользователя) знаний информационным элементам, используемых в информационном противоборстве;
- единой внутренней моделью знаний для различных внешних представлений;
- агрегированным интеллектуальным интерфейсом, обеспечивающим возможность представления различных информационных структур знаний и быстрых переходов между этими представлениями.

Перечисленные факторы существенно усложняют процесс внедрения ИСППР для выявления негативного ИПВ на обучающихся образовательных организаций Минобороны России и защиты от него. В современных условиях научной проработкой указанной проблемы и разработкой прототипа таких систем заняты, в основном, одиночные исполнители.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье предложены базовая и расширенная модели интеллектуальной системы поддержки принятия решений в целях выявления негативного информационно-психологического воздействия на обучающихся образовательных организаций Минобороны России и защиты от него в условиях обострения информационного воздействия.

В дальнейшем для эффективного создания ИСППР необходимо решить следующие задачи:

- разработать модель представления знаний, наиболее соответствующую выводу решений;

- разработать дружественный интерфейс для сотрудника образовательной организации, позволяющий ему успешно формализовать свои знания;
- разработать математический аппарат, позволяющий накапливать знания во взаимодействии с электронной информационно-образовательной средой, образовательной организацией и другими источниками данных.

В рамках реализации федеральных государственных образовательных стандартов высшего и среднего профессионального образования (ФГОС) образовательные организации должны обеспечить функционирование электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС), которая должна, в том числе, фиксировать успеваемость и индивидуальные достижения обучающихся. Решением начальника Главного управления кадров МО РФ разработка ЭИОС является приоритетной и проводится в рамках комплексной НИР «Разработка перспективной модели военной образовательной организации высшего образования Министерства обороны Российской Федерации». Указанная среда может стать источником наполнения СУБЗн статистическими знаниями об обучающихся (группа профессионально-психологического отбора, успеваемость, индивидуальные достижения и т.п.), она и позволит интегрировать ЭИОС с ИСППР выявления негативного информационно-психологического воздействия на обучающихся и защиты от него.

Список используемых источников

1. *Лескин А.А., Мальцев В.Н.* Системы поддержки управленческих и проектных решений. – Л.: Машиностроение, 1990. – 167 с.
2. *Карпов О.Э., Клименко Г.С., Лебедев Г.С.* Применение интеллектуальных систем в здравоохранении // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 7-1. – С. 38–43.

А.А. Платонов,
кандидат техн. наук;
А.А. Псарёв

ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ДЕФЕКТОВ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЗАИМОДОПОЛНЯЮЩИХ СЕМАНТИК

Предлагается подход к выявлению дефектов программ на основе применения модели взаимодополняющих семантик. Создание модели осуществляется путем последовательного преобразования исходного текста программ от синтаксического дерева до абстрактного семантического графа и отображения этих представлений в автоматную модель, производственную систему и формальную грамматику. Это позволяет создавать унифицированные сигнатуры дефектов программ с помощью этих формальных аппаратов.

Ключевые слова: программное обеспечение, модель программы, формальная грамматика, производственная система, автоматная модель, алгебраическое программирование, эквивалентность программ, завершаемость программ.

ВВЕДЕНИЕ

Информационные технологии (ИТ) все больше и больше проникают в критически важные области человеческой жизни: в военную сферу, сферу здравоохранения; в атомную энергетику и т.д. В связи с этим остро встает вопрос о защите информации от сбоев и вредоносного воздействия. Решением этой задачи является комплексный подход, который имеет развитую научно-методическую базу.

В мировой практике обеспечение информационной безопасности (ИБ) рассматривается с разных сторон и на разных уровнях, от проверки надежности программного обеспечения (ПО) на этапе проектирования, до аудита безопасности работающей компьютерной системы. По мнению зарубежных и российских ученых, функциональные характеристики информационно-компьютерной системы как раз определяются качеством и надежностью ПО. И чем сложнее информационная система (ИС), тем все более критичным и актуальным является обеспечение надежности и безопасности информации. Поэтому обеспечение безопасности технологий создания и сопровождения ПО информационных систем становится важнейшей задачей. И соответственно еще большую актуальность приобретает обеспечение мер контроля качества на этапах разработки, внедрения и эксплуатации ПО.

С учетом динамичности и сложности программ остро встает проблема непрерывного совершенствования методов контроля, тестирования и качественного сопровождения программ, а именно: статического и динамического анализа, функционального, нагрузочного, комплексного и регрессионного тестирования, экспертиз бюллетеней безопасности, сканирование уязвимостей, антивирусного контроля и т.д.

В настоящей публикации рассматривается модель представления программ на основе взаимодополняющих семантик, которая позволяет осуществлять контроль качества программного обеспечения.

ИДЕОЛОГИЯ МНОГОМОДЕЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОГРАММ

Проведенный структурный анализ программ показал, что универсальной моделью программы является управляющий граф. Идеология многомодельности программ позволяет интерпретировать универсальную модель в виде формальных грамматик и производственных правил, конкретизированных под решаемую задачу, а также автомата, реализующего эти мо-

дели. Предлагаемая модель программы основана на оценивании структур, являющихся основой любой программы.

В решении вопросов формального описания семантики языков программирования сложились три основных подхода: операционный, аксиоматический и денотационный. Смысловая разноориентированность указанных направлений состоит в различном выражении семантики вычислимой функции.

При операционном подходе смысл описывается в терминах некоторой машины (автомата), чаще всего – воображаемой (абстрактной). Эта форма семантики использовалась (в различных вариантах) для определения практически всех императивных языков программирования. Одним из наиболее известных и характерных примеров такого подхода служит описание семантики языка программирования «Алгол 68». Фактически этот подход реализуется всякий раз, когда создается «базовый» интерпретатор языка, служащий эталоном устойчивости действий команд любой другой реализации.

В процессе работы автомата меняется состояние программы – совокупность значений ее переменных. Результат исполнения программы – это состояние, при котором автомат завершает работу по данной программе. Естественно, оно зависит от начального состояния – того, в котором машина начала работу.

В операционном определении смысл задается правилом вычисления последовательности состояний, поэтому ориентация этой семантики проявляется на этапах построения и реализации искомой функции. Что же касается трудностей этой модели в доказательстве свойств вычислимости и абстрактной спецификации вычислимой функции, то они общеизвестны [5].

Аксиоматический (деривационный) подход или пропозиционная семантика – это самостоятельное направление формализации, основанное не на задании состояний и функций над ними, а на определении и логической формулировке утверждений о свойствах состояний и вычислимости (завершаемость, частичность, эквивалентность). Таким образом, строится некая формальная теория – «исчисления программ» (продукционная система), формулы которой выражают утверждения о состоянии программ. Арсенал методов указанного направления составляют методы индуктивных утверждений Флойда, Хоара, Вирта [13–15], аннотирующие процесс вычислений для заключения о его корректности; метод преобразования предикатов Дейкстры [3], исследующий вопросы завершаемости вычислений; автоматизированные методы проверки свойств вычислимости в исчислении предикатов Манна [7–9]; и, наконец, обобщенный аксиоматический метод Хоара [13–15], доказывающий наличие и истинность требуемых свойств вычислимости в комплексе.

Отсюда хорошо видна ориентация пропозиционной семантики на процессы эквивалентных преобразований и доказательство свойств вычислимости (алгоритмической разрешимости), отождествляемая с одноименными этапами задачи и процесса синтеза.

В основу денотационного подхода, получившего также название математической семантики, кладется модель (интерпретация алгоритма), но она описывается не в терминах машины, а более традиционными для математики средствами – в терминах некоторой совокупности множеств, отношений и отображений (формальных грамматик). По замыслу эти средства должны описывать результаты исполнения программы в целом и ее отдельных частей, точнее – связь между начальным и заключительным состоянием. К названному направлению следует отнести аппликативные теории вычислений А. Черча, С. Клини [6] и комбинаторный стиль Л. Тернера; алгебру функций и функциональный стиль Дж. Бэкуса [6]; рекурсивно-функциональные Рефал-машины А. Маркова, С. Турчина [6] и теорию нумераций Ю. Ершова [4, 5], теорию неподвижной точки программ З. Манна [7, 8] и теорию функциональных областей Д. Скотта. Не будет преувеличением утверждать, что эти авторы вознамерились приблизить абстрактные машины теории вычислимости к реальным компьютерам, а главное – поднять строгость описания семантики реальных языков программирования до уровня, сложившегося в этой теории.

Теоретическим фундаментом, на основе которого развивались представленные теории, явилось понятие рекурсивной функции и основополагающее утверждение о совпадении класса рекурсивных функций с классом вычислимых.

В процессе развития денотационного подхода были разработаны ряд специальных языков LCF, CPL, LISP, РЕФАЛ и других, нашедших применение к задачам символьной обработки текстов, представления сценарийных знаний, проектирования функциональных структур, доказательства свойств рекурсивных языков и программ. Формализация семантики здесь состоит в том, что смысл вычислений задается совокупностью потенциально допустимых вычислительных функций, отображающих все возможное множество состояний процесса вычислений в себя, в то время как традиционное определение смысла вычислений предполагает задание конкретной последовательности состояний и функций перехода между ними.

Денотационная трактовка смысла, испытывая трудности описания собственно вычислений, дает значительные преимущества в выражении функциональной структуры и может эффективно использоваться для моделирования задачи вычисления и ее последующей декомпозиции (типизации). Для жизненного цикла программы – это подпроцессы спецификации и проектирования.

Внутри каждого из подходов можно выделить ряд различных приемов и изобразительных средств, в том числе и специфичные аппараты формальных грамматик, продукционных систем и теории автоматов. Для конкретной реализации любого из этих подходов используются и общие математические основы:

1. Логические формальные теории (исчисление высказываний, формальные теории 1-го, 2-го и n -го порядка).
2. Теория множеств.
3. Теория вычислимости (алгоритмов).
4. Теория вероятностей.
5. Теория информации.

Следует отметить, что представленные формы семантического описания эквивалентно отражают смысл конструкций языка на своем, отличном от других уровне абстракции. Вопросам соотношения методов семантического описания уделено достаточное внимание, главное состоит в утверждении (Д. Скотт, С. А. Кук, Ч. Хоар, Р. Милнер и др.) эквивалентности языкового выражения вычислимости в денотационной, аксиоматической и операционной семантиках.

Обоснованно появилась концепция взаимосвязанных семантик (Ч. Хоар, Д. Донаху [4]), призванная ослабить смысловые разночтения авторов языков, разработчиков трансляторов и программистов. В литературе встречаются различные комбинации семантических форм, за исключением обобщающей.

Названные подходы не исключают, а дополняют друг друга, освещают семантику языков программирования с разных сторон. Операционный подход ближе других стоит к задаче создания как интерпретаторов языков программирования, так и компиляторов для них. Будем считать его первичным, отражающим содержательную сторону программирования, но существует и иная позиция по отношению к операционному – «фон-неймановскому» – взгляду на программирование, отдающая приоритет функциональному, денотационному подходу (Дж. Бэкус и др.). Оставив углубленное изучение этой идеи, зафиксируем лишь концепцию структурированных семантик, с позиции которой рассмотрим модель представления программ на основе взаимодополняющих семантик.

В результате проведенного анализа в качестве базовых типов выберем: доказательное, верификационное и тестовое исследования. Эти исследования могут проводиться с целью выявления искажений вычислительных структур, нарушений свойств вычислимости и модификации вычислительных действий программы.

Доказательное исследование дает возможность анализировать правильность вычислительных структур, что позволит обнаружить дефекты исходных или исполняемых текстов

программ. Этот анализ осуществляется на основании языка структур, свойственного любой программе.

Предметом второго направления исследований является установление соответствия свойств вычислимости программ.

Третье направление включает в себя теоретическое, системное и прикладное тестирование программ, исследующее характеристики программы в процессе ее выполнения.

Предлагаемый системный подход может использоваться при решении задачи повышения качества программного обеспечения и сертификации программных комплексов (изделий). Он сочетает достоинства указанных направлений и снижает в целом присущие им недостатки.

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОДОПОЛНЯЮЩИХ СЕМАНТИК

Одним из вариантов конкретизации введенного выше многомодельного базиса являются три уровня абстракции моделей программ: семантический, синтаксический и лексический.

С позиции структурированного представления семантик вычислений в дальнейшем будем использовать базис модели вычислений: разрешение, выбор и предписание. Разрешение представлено в денотационном подходе, выбор – в аксиоматическом, а предписания – в операционном. Таким образом, этот базис отражает вычислительные структуры, свойства вычислимости и вычислительные действия рассматриваемой программы.

В соответствии со структурной интерпретацией вычислений различают:

- 1) формальную модель языка структур, задаваемую грамматикой;
- 2) формализацию логических свойств вычислений, задаваемую продукционными системами;
- 3) формальную модель реализации системы действий, представленную автоматными моделями вычислений.

Известна классификация грамматик Н. Хомского [4, 5], представленная им по четырем уровням абстракций – от толерантного до уровня реализации. Предлагается использовать классификацию Н. Хомского для разработки грамматик, продукционных систем и автоматных моделей (рис. 1).

	ГРАММАТИЧЕСКИЕ	ПРОДУКЦИОННЫЕ	АВТОМАТНЫЕ	
Классификация Хомского	Рекурсивно-перечислимые множества	Машины Поста	Машины Тьюринга	0
	Непосредственно-составляющие	ТАГ – системы Поста	Линейно-ограниченные машины	1
	Контекстно-свободные	Продукционные системы	Магазинные автоматы	2
	Регулярные грамматики	Системы нормальных продукций	Конечные автоматы	3

Рис. 1. Классификация грамматик, продукционных систем и автоматов по Н. Хомскому

Основой для разработки структурированной модели программы является управляющий граф (*control flow*) программы, где St – множество вершин [состояний(*status*)], а Tr – множество дуг [переходов(*transition*)]. Пример такого графа приведен на рис. 2. Вершина представляет собой строку кода программы, которая может быть исходным текстом или исполняемым кодом в виде мнемоники ассемблера. В связи с этим мощность множества St равна

$$k \approx C_{str},$$

где C_{str} – количество строк кода.

Мощность множества $Tr(z)$ зависит от C_{str} , а также от количества команд условного (C_{jnz}) и безусловного перехода C_{jmp} :

$$z \approx C_{str} + C_{jnz} + 2C_{jmp}.$$

Исследование (анализ, разбор) управляющего графа позволяет создать теоретическую основу для будущей модели в виде регулярной грамматики, системы нормальных продукций, а также конечного автомата.

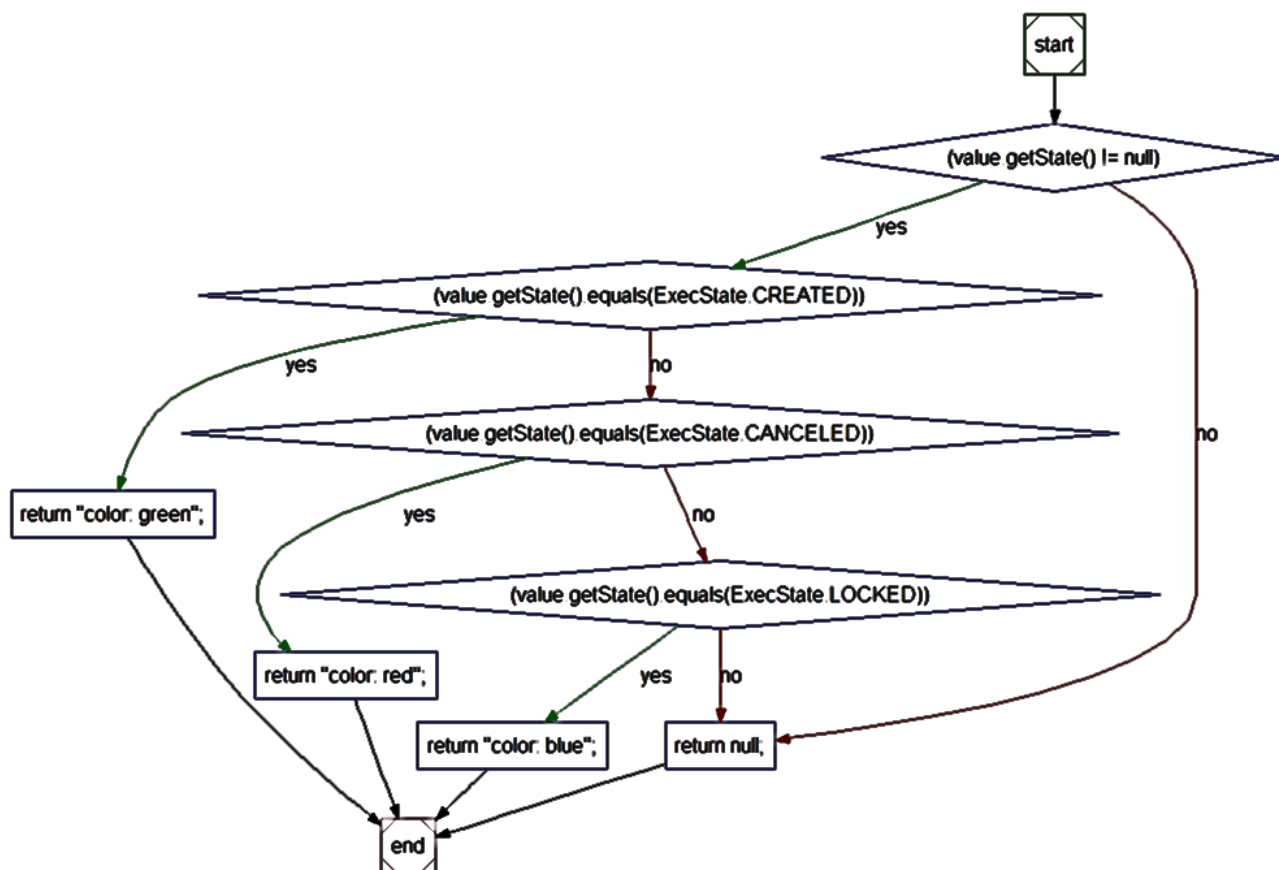


Рис. 2. Пример управляющего графа программы

Общая структурированная модель представления программ на основе взаимодополняющих семантик показана на рис. 3.

Каждая из предлагаемых семантик, выраженная на физическом уровне, как было указано выше, позволяет контролировать один из трех компонентов выбранного базиса (вычислительные структуры, свойства вычислимости, вычислительные действия) [2, 10]. Под контролем в нашем случае подразумевается слежение за правильностью вычислительных структур, корректностью свойств вычислимости и устойчивостью вычислительных действий [10]. Реализация этого контроля происходит путем анализа присущих каждой из семантик специфических характеристик [2].

С точки зрения правильности вычислительных структур, которые задаются в разрешениях, различают функциональное, логическое и алгебраическое программирование.

Алгебраическое программирование [12, 15] является направлением программистской деятельности, в которой программа представляется в виде алгебраических объектов, а также их преобразований, которые возможны в этом алгебраическом базисе. Решение задачи и алгоритмические конструкции представляются соответствующими алгебраическими выражениями или формулами.

Формирование программ в логическом программировании осуществляется по законам математической логики.

В функциональном программировании повсеместно используется рекурсия. В рамках функционального программирования получили сильное развитие методы доказательства правильности рекурсивных программ.

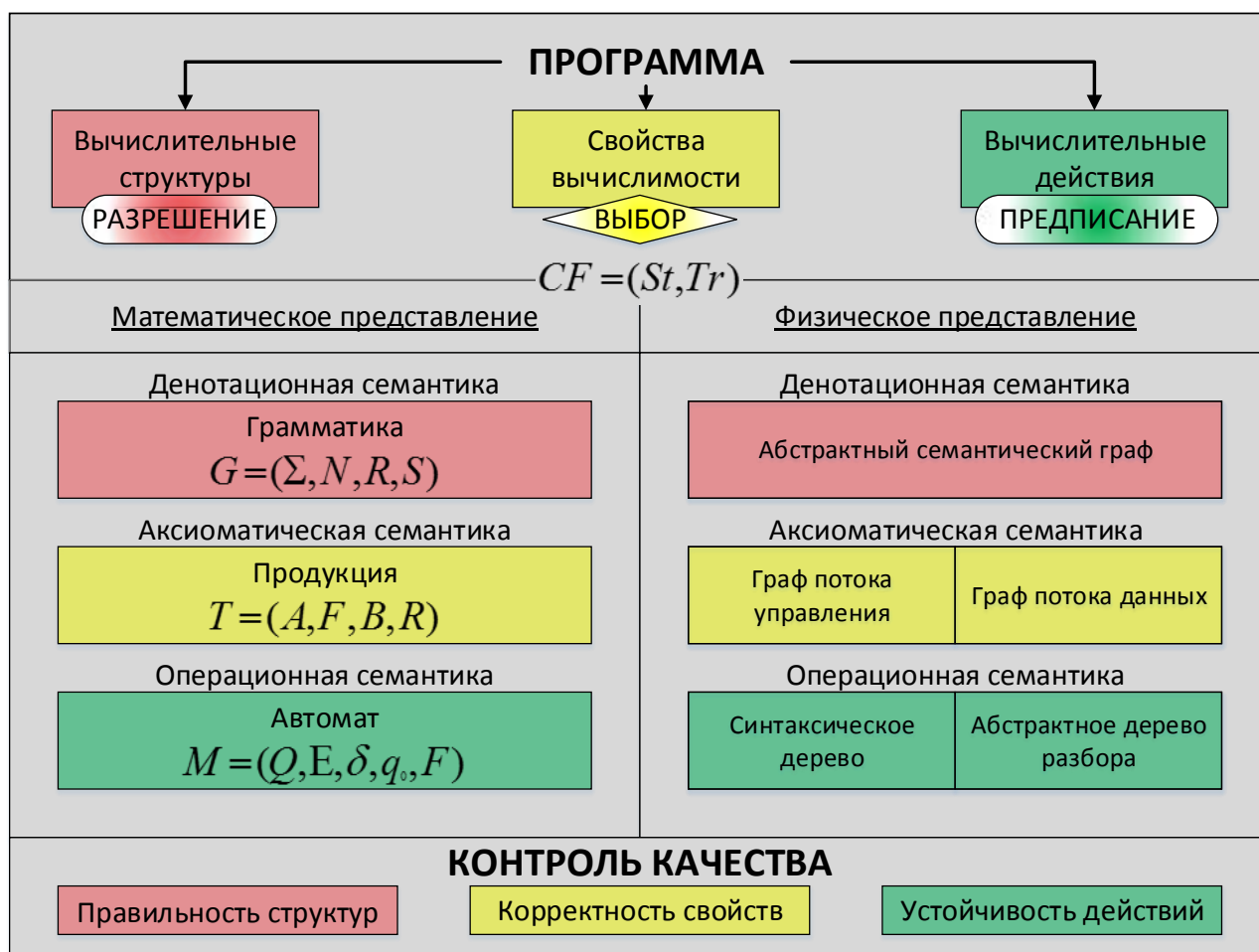


Рис.3. Модель представления программ на основе взаимодополняющих семантик

Вывод о корректности свойств можно сделать на основании понятий эквивалентности и частичности (частичной эквивалентности). Понятие эквивалентности двух программ P_1 и P_2 будем устанавливать на основании следующих данных [1, 10]:

1. У каждой программы существуют входные и выходные данные. Для каждого кортежа входных данных, который имеет место быть для данной программы, выполнение программы может приводить к некоторому кортежу выходных данных. Пусть $P_{1\text{вх}}(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$ и $P_{2\text{вх}}(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$ – кортежи входных данных программ P_1 и P_2 соответственно, а n – это размер входного кортежа.

2. Программы P_1 и P_2 считаются эквивалентными только в том случае, если из условия $P_{1\text{вх}} = P_{2\text{вх}}$ следует, что если хотя бы одна программа, например P_1 , имеет кортеж выходных данных $P_{1\text{вых}}(y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m})$, то и другая программа также имеет кортеж выходных данных $P_{2\text{вых}}(y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2m})$, при этом $P_{1\text{вых}} = P_{2\text{вых}}$.

В современном программном обеспечении может существовать практически бесконечное множество входных и выходных данных, это обуславливает сведение понятия эквивалентности к более общему варианту. В этом случае эквивалентность определяется некоторым изоморфизмом, который фиксируется экспертом. Эквивалентность двух программ выясняется с помощью сопоставления друг с другом не равных кортежей входных и выходных данных, а лишь находящихся в соответствии, задаваемом изоморфизмом.

Тогда между некоторыми кортежами входных данных $P_{1\text{вх}}$ программы P_1 и кортежами $P_{2\text{вх}}$ программы P_2 задается изоморфизм $Z_{\text{вх}}$. Аналогично задается изоморфизм $Z_{\text{вых}}$ между выходами $P_{1\text{вых}}$ и $P_{2\text{вых}}$ программ P_1 и P_2 соответственно.

Зададим предикат (утверждение) по отношению к двум кортежам T и R «быть в соответствии с заданным изоморфизмом Z » и будем обозначать через $T \sim R$.

Теперь программы P_1 и P_2 являются эквивалентными, если из условия

$$P_{1\text{вх}}(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}) \sim P_{2\text{вх}}(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$$

в соответствии с $Z_{\text{вх}}$ следует, что если хотя бы одна программа имеет выходной кортеж

$$P_{1\text{вых}}(y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}),$$

то и другая программа имеет выходной кортеж

$$P_{2\text{вых}}(y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2m}),$$

и при этом

$$P_{1\text{вых}}(y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}) \sim P_{2\text{вых}}(y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2m})$$

в соответствии с $Z_{\text{вых}}$. На основании этого правила существуют различные классы эквивалентности, которые отличаются тем, как определяются входные и выходные кортежи программы, а также тем, как формируются биективные отображения $Z_{\text{вх}}$ и $Z_{\text{вых}}$.

Между различными классами эквивалентности очень часто вводится понятие частичного отношения порядка, которое выражается словами «сильнее» и «слабее». Отношение эквивалентности \dot{P}_1 слабее отношения эквивалентности \dot{P}_2 , если существуют программы P_1 и P_2 , которые эквивалентны по \dot{P}_1 , и по \dot{P}_2 , но при этом также существует хотя бы одна пара программ \tilde{P}_1, \tilde{P}_2 таких, которые эквивалентны по \dot{P}_1 и не эквивалентны по \dot{P}_2 .

Таким образом, чем слабее отношение эквивалентности, тем большее количество программ эквивалентны друг другу согласно этому отношению. Следовательно, слабое определении эквивалентности программ влечет за собой множество проблем. Все эти проблемы, связаны с задачами, решаемыми в рамках теории алгоритмов, в том числе и с задачей распознавания эквивалентности.

При введении сильного определения эквивалентности классы эквивалентных программ резко сужаются, что влечет за собой похожие проблемы теории алгоритмов. Корректный выбор понятия эквивалентности играет существенную роль для получения возможности вывода содержательных теорем, а также при решении практических задач в теории алгоритмов.

На мощность отношения понятия эквивалентности наиболее существенно влияет выбор кортежа выходных данных программы. Под этими данными будем понимать запись всей информации, которую мы получаем в процессе выполнения программы. Соответственно это не только данные, которые были получены в результате работы программы, но также и какие-либо значимые промежуточные результаты.

Следовательно, чем больше промежуточной и результирующей информации включает в себя кортеж выходных данных, тем более сильным становится отношение эквивалентности.

Это, в свою очередь, влечет за собой сужение класса эквивалентных программ. В этот класс попадают программы, история выполнения которых соответствует истории, зафиксированной в кортеже выходных данных.

Полную информацию о порядке выполнения программы можно получить, только если отслеживать всю последовательность выполнения операторов без каких-либо исключений. Такое определение эквивалентности рассматривалось Ю.И. Яновым для операторных схем Ляпунова. При таком подходе определение эквивалентности будет являться слишком сильным, и многие программы, которые разумно считать эквивалентными, в таком случае оказываются неэквивалентными. Кроме того, с учетом объемов современного ПО кортежи выходных данных будут огромны, а время проведения расчетов таких кортежей неприемлемым.

Исходя из этого, в качестве кортежа выходных данных операторного процесса выполнения программы целесообразно рассматривать неполное множество промежуточных и результирующих значений всех переменных программы. Одним из вариантов формирования такого кортежа является выделение только существенных, с точки зрения решаемых задач, переменных. Тогда в качестве кортежа выходных данных $V_{\text{вых}}$ будут представления тех переменных F , промежуточные и результирующие значения которых нас интересуют в виде результатов выполнения операторного процесса программы.

В дальнейшем при использовании такого определения эквивалентности можно сказать, что две программы эквивалентны по отношению к выделенным переменным в том случае, если соответствующие переменные при совпадающих кортежах входных данных вычисляются по одинаковым формулам. Таким образом, F – это представление кортежа значений переменных с течением времени, кроме того, это не что иное, как явное выражение формулы, по которой вычислялось результирующее значение какой-либо переменной для данных исходных значений функциональных переменных.

Необходимо отметить, что в теории и практике программирования важную роль играют такие преобразования алгоритмов, которые оставляют расчетные формулы (F -представления) неизменными. Основные приемы программирования, в которых требуется учитывать свойства таких преобразований, это:

- разбиение задачи на части;
- расчленение формул;
- выделение промежуточных результатов;
- преобразование логических операторов;
- экономия команд и ячеек памяти;
- обфускация программ.

Использование таких приемов в своих целях не должно приводить к изменению F -представления результирующих переменных.

Для определения эквивалентности операторных процессов рассмотрим две программы – P_1 и P_2 из некоторого класса операторных программ. Для каждой из программ выделим те переменные, которые нас интересуют в качестве результатов выполнения этих программ. Выделенные переменные могут быть различными у программы P_1 и программы P_2 , но число их должно быть одинаковым и между ними должно быть установлено взаимнооднозначное соответствие. То же самое относится к функциональным переменным программ P_1 , P_2 и к параметрам этих программ, которые могут входить в F -представление выделенных переменных. Обозначим функциональные переменные, параметры и выделенные переменные программы P_1 буквами x_1, \dots, x_s , p_1, \dots, p_r и y_1, \dots, y_n соответственно. Соответствующие им переменные, играющие аналогичную роль для P_2 , обозначим буквами $\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_s$, $\tilde{p}_1, \dots, \tilde{p}_r$, $\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n$.

Программы P_1 и P_2 эквивалентны по отношению к выделенным переменным, y_1, \dots, y_n и $\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n$, если для любого набора исходных данных x_1, \dots, x_s имеет место следующее утвер-

[illegible][illegible]

Наглядность теоретико-графовых структур и доходчивость языка теории графов позволили определить область их применимости от задач, решаемых с помощью теории множеств, до задач анализа свойств алгоритмов. В связи с этим к понятиям теории множеств добавляется свойство завершаемости алгоритмов [12]. Завершаемость – это свойство алгоритма, которое показывает, что при корректно заданных исходных данных алгоритм должен завершать работу и выдавать результат за конечное число шагов (переходов). Исследования в этой области привели к созданию мощного аппарата для доказательства эквивалентности, корректности и завершаемости рекурсивных программ, нашедшего свое обобщение в теории неподвижной точки программ З. Манна [7, 8]. В рамках этого подхода родились функциональные пространства Д. Скотта, *FP*–стиль Дж. Бэкуса, в котором свободные от переменных программы строятся из примитивных программ с помощью рекурсивных определений и небольшого набора комбинирующих форм (функционалов). В качестве семантики *FP*-программ выступает наименьшая неподвижная точка рекурсивных функциональных определений, задающих эти программы. Корректность этого соответствия, впоследствии реализованного в методе функционального преобразования программ Берстолла и Дарлингтона «Свертки-развертки», доказана Уильямсом.

Все вышесказанное позволяет в будущем перейти от общей структурированной модели программы к частной, которая будет обусловлена стоящими перед ней задачами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая модель представления программы на основе взаимодополняющих семантик позволяет:

- осуществлять контроль над правильностью структур, корректностью свойств и устойчивостью действий программы;
- разрабатывать частные модели программ на основе базовой модели в зависимости от требуемых задач и в рамках допустимых ограничений;
- выбирать ключевые (информативные) параметры частной модели для дальнейшего использования их в теории распознавания с целью выявления дефектов, уязвимостей и недеklarированных возможностей.

Такая модель в сочетании с метрическими показателями программ, которые требуются для численного отображения структуры, свойств и действий программы, позволяет существенно повысить качество программного обеспечения ИС путем своевременного выявления дефектов и уязвимостей программ.

Список используемых источников

1. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий: пер. с англ. / В. Ахо, С. Лам, Р. Сети и др. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 1184 с.
2. Бирюков Д.Н., Сабиров Т.Р. Абдуктивный синтез структур функциональных типов сценариев для установления аналогий в многомодельной концептуально-онтологической системе знаний // Труды СПИИРАН. – 2017. – Вып. 4 (53). – С. 140–159.
3. Дейкстра Э. Дисциплина программирования. Математическое обеспечение ЭВМ. – М.: Книга по требованию, 2013. – 274 с.
4. Донаху Дж. Взаимодополняющие определения семантики языка программирования // Семантика языков программирования. – М.: Мир, 1980. – С. 222–394.
5. Лавров С. Программирование. Математические основы, средства, теория. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 320 с.
6. Ломако А.Г., Зима В.М. Многомодельное исследование программ // Приборостроение. – 1993. – № 2. – С. 76–84.
7. Манна З. Правильность программ: пер. с англ. // Кибернетический сборник. Новая серия. – М.: Мир, 1970. – Вып. 7 – С. 85–93.
8. Манна З. Теория неподвижной точки программ // Кибернетический сборник. – М.: Мир, 1978. – Вып.15. – С. 38–100.
9. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем. Математические основы. – М., 1978. – 168 с.
10. Платонов А.А., Тимофеев В.И. Контроль целостности динамических объектов вычислительных систем с использованием метрических эталонов // Труды СПИИРАН. – 2015. – Вып. 1 (38). – С. 136–160.
11. Юценко Е.Л., Касаткина И.В. Современные методы доказательства правильности программ // Кибернетика. – 1980. – № 6 – С. 37–62.
12. Nielson H., Nielson F. Semantics with Applications: An Appetizer. – Springer London, 2007. – 274 p.
13. Aceto L., Fokkink W., Verhoef C. Structural operational semantics // Handbook of Process Algebra. – Elsevier Science, 2001 – P. 197–291.
14. Mosses P.D. Modular structural operational semantics // J. Logic and Algebraic Programming. – 2004 – P. 195–228.
15. Kavanagh R., Brookes S. A denotational semantics for SPARC TSO // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. – 2018. – Vol. 336. – P. 223–239.

А.М. Романченко,
кандидат техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПА ИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО- КОМПЬЮТЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье представлен показатель на основе информационной энтропии, предназначенный для распознавания данных разного типа. Выполнено обоснование его результативности в сравнении с классической энтропией. Предложен способ его практического применения для обнаружения вредоносного программного кода, внедренного в интерпретируемые текстовые файлы на примере формата html.

Ключевые слова: энтропия, мера символического разнообразия, кластеризация, обнаружение вирусов.

В современном мире вопросы обеспечения компьютерной безопасности в любой отрасли государства приобрели приоритетный статус. Это связано как с усилением международной напряженности, так и с обострением ситуации в информационном пространстве. Это наглядно подтверждает одно из недавних заявлений США о возможности военного удара в ответ на кибератаки. В этих условиях очевидно, что все действия в информационной среде, которые могут быть рассмотрены как атакующие, должны быть максимально продуманными и обоснованными. Для этого необходимо обладать максимально полной информацией о возможностях противника. Одним из путей решения этой задачи является развитие возможностей методов анализа данных неизвестной структуры.

Одной из важных задач в информационном противостоянии является анализ разнородных данных, полученных из различных источников, их декодирование и использование информации, которая в них содержится. При этом данные могут быть представлены как в виде файлов некоторого формата, так и в виде данных, записанных из различных сетей связи (дампа). Задача анализа данных неизвестного типа зачастую существенно усложняется отсутствием или искажением дополнительной информации, такой как заголовки и расширения файлов, изменение отдельных полей протоколов, использование новых протоколов и форматов данных и т.д. При анализе структуры и свойств неизвестных данных наиболее часто используется подход, при котором одновременно обрабатывается множество единиц информации одного типа. Это позволяет выделить заголовки, числовые поля, строковые значения, таблицы символов и другие структурные элементы, зная которые можно попытаться восстановить структуру данных неизвестного типа. Одним из этапов указанного подхода является типизация или кластеризация, с помощью которой можно сформировать наборы данных одинакового типа из всех имеющихся в наличии, по одному или нескольким признакам.

В данной публикации предлагается подход к распознаванию типа файловых данных с использованием информационной энтропии.

Цель работы – разработать и обосновать новый показатель на основе информационной энтропии, позволяющий с более высоким качеством, в сравнении с классической энтропией, различать компьютерные данные разного типа.

Информационная энтропия – это количество информации, приходящейся на одно элементарное сообщение источника, вырабатывающего статистически независимые сообщения. Для расчета энтропии дискретного источника Клод Шеннон предложил использовать следующую формулу [3]:

$$H(X) = - \sum_{i=0}^N P(X_i) \log(P(X_i)),$$

где X_i – дискретная случайная величина с диапазоном изменчивости N ;
 $P(X_i)$ – вероятность того, что случайная величина примет значение с индексом i из всего множества значений N .

Отметим, что максимум энтропии будет достигаться для равномерного распределения, когда $P(X_i) = \frac{1}{N}$, из чего следует вывод, что энтропия тем больше, чем больше непредсказуемость событий в заданной вероятностной модели.

Одним из наиболее простых способов использования энтропии для определения типа информации является использование порогового критерия для определения типов файлов. Для этого необходимо определить диапазоны соответствия типа информации и величины ее энтропии и использовать прямое вычисление энтропии для каждого анализируемого файла. Этот подход позволит быстро выполнить определение типов данных, но при этом имеет недостаточно высокую точность и может приводить к неверному решению. Так, например, экспериментально установлено, что файлы типа zip, jpg, mp3 и некоторые другие имеют приблизительно одинаковое значение энтропии, равное 0,44.

Для уменьшения вероятности ошибки распознавания типа информации предлагается использование энтропии пространств сдвигов в качестве показателя различия разнотипных единиц информации. Энтропия пространств сдвигов в массивах бесконечной длины определяется выражением [2]

$$H(S_F) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log |B_n|,$$

где B_n – множество векторов длины n в последовательности S_F . С использованием энтропии пространств сдвигов возможно построение меры символьного различия типов данных. Энтропия пространств сдвигов для периодических последовательностей равна 0. Непериодическими последовательностями с наименьшей энтропией пространств сдвигов являются слова Штурма [1] (пример слова Штурма – это слова Фибоначчи вида $0 \rightarrow 01 \rightarrow 010 \rightarrow 01001 \rightarrow 01001010 \rightarrow \dots$), поэтому последовательности, для которых энтропия меньше, чем энтропия слов Штурма, можно считать квазипериодическими.

Для решения задачи распознавания типа информации представим входной вектор данных (последовательность S_F) в форме множества слов длины k , полученных путем сдвига на один символ окна размером k от начала информационного массива. Пусть C_k – множество слов длины k , и каждому слову соответствует вероятность его появления в последовательности S_F , определяемая статистически. Тогда оператор сдвига $SR(S_F, k)$ порождает мультимножество T , каждому элементу которого соответствует вероятностное пространство \bar{P} , в котором суммарная единица вероятности распределена между случайными событиями (появлением различных слов в последовательности).

Рассмотрим вероятностную модель $M_k = (T_k, \bar{P}_k)$, в которой мощность множества $|T_k|$ равна числу слов длины k в последовательности S_F . Мощность множества $|T_k|$ вычисляется как $N - k + 1$, где k – длина слова, N – длина последовательности S_F .

В данной модели для типизации данных используем нормированную энтропию

$$H(X) = - \sum_{i=0}^{|T_k|} P(X_i) \log_{|T_k|}(P(X_i)),$$

в которой основание равно мощности множества T_k , при этом значение энтропии будет лежать в пределах от 0 до 1. Также она будет обладать свойством инвариантности к длине сообщения, начиная с размера 5000 байт и больше, и, как следствие, будет устойчива в тех случаях, когда данные известны не полностью.

Рассмотрим поведение значения нормированной энтропии от множества слов длины n_i , полученных из исходного файла данных с помощью сдвига на один символ окна размером n_i , где n_i будет изменяться в пределах от 1 до 12 (рис. 1).

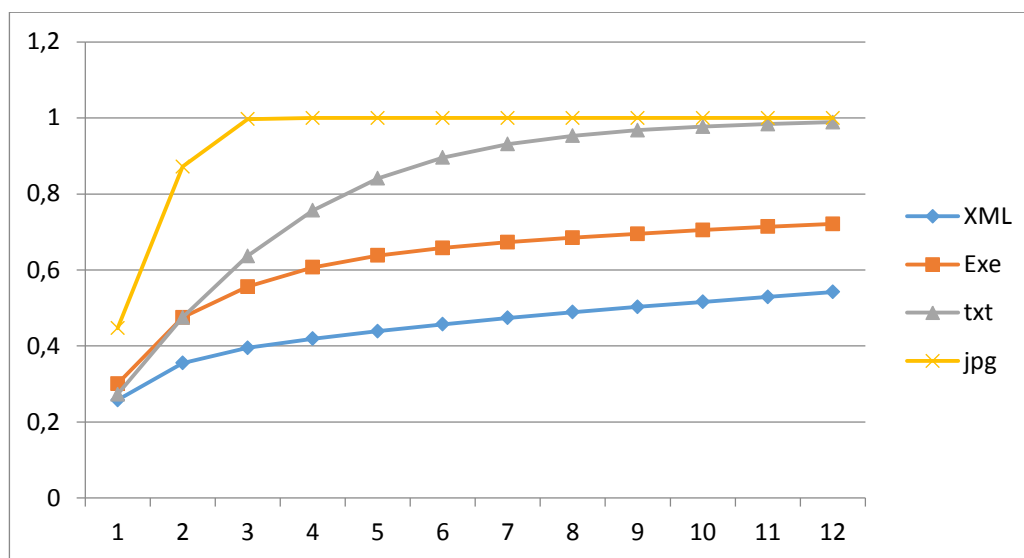


Рис. 1. График зависимости величины нормированной энтропии для окна от 1 до 12 и разных исходных данных (файлов)

Исходя из экспериментальных данных, было определено, что максимальное различие энтропии для разных типов данных наблюдается при величине окна, равной 5, что также можно увидеть на рис. 1. Исходя из этого, в качестве показателя для определения типа информации предлагается использовать значение нормированной энтропии для величины окна, равной 5. На рис. 2 определены диапазоны для данных некоторых типов на отрезке от 0 до 1.

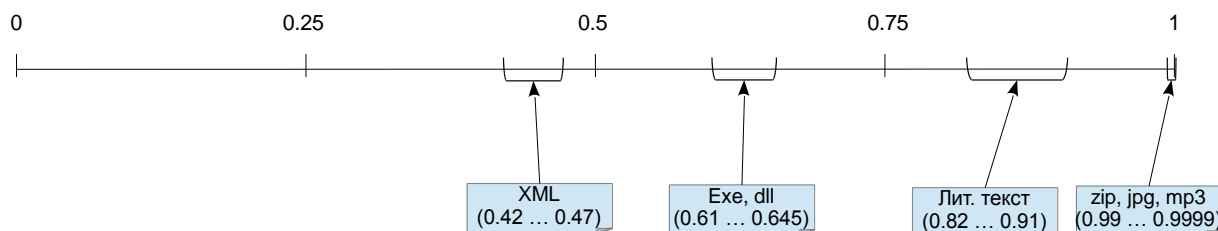


Рис. 2. Распределение значения нормированной энтропии для некоторых типов данных на отрезке 0...1

Для демонстрации результативности предложенного метода сравним данные диапазонов распределения энтропии, предложенной в работе, и классической энтропии Клода Шеннона, вычисленной для тех же данных и для длины слова в один байт. Для приведения данных к одному диапазону (0...1) выполним нормирование значения энтропии Клода Шеннона. Для этого разделим значение энтропии на максимально возможное значение энтропии при слове один байт, т.е. на восемь. Результаты вычисления распределения классической энтропии для разных типов данных приведены на рис. 3. Сравнивая результаты, представленные на рис. 2 и 3, необходимо отметить, что для данных, у которых классическая энтропия близка к теоретическому пределу, предложенный метод не дает существенных улучшений. Для данных с энтропией, существенно отличающейся от максимальной, становится заметно превосходство предложенного метода в сравнении с классической энтропией. На рис. 2 (предложенный метод) диапазоны для файлов литературного текста, файлов exe и dll, и файлов xml различны, а на рис. 3 (классическая энтропия) практически неотличимы друг от друга.

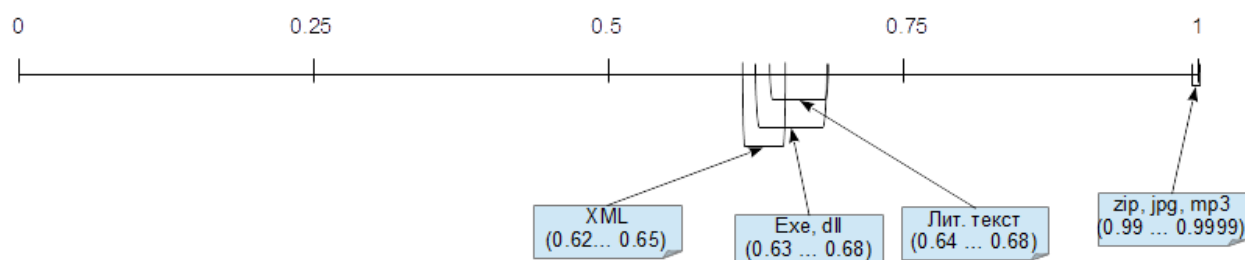


Рис. 3. Распределение значения нормированной энтропии К.Шеннона для некоторых типов данных на отрезке 0...1

Такой результат объясняется тем, что классическая энтропия не зависит от внутренней структуры данных и для нее одинаково хороши и архивный файл, и периодическая последовательность. Предложенный метод учитывает случайность распределения байтов в блоках выбранной длины (5 байт), поэтому демонстрирует лучшие результаты.

Рассмотрим повторяемости значения нормированной энтропии для различных экземпляров данных типа «сжатая аудиоинформация в формате mp3». Результаты сравнения величины энтропии для размеров окна от 1 до 12 приведены на рис. 4. Из графика очевидно, что значения для всех размеров окна очень близки и для значения окна, равного 5, укладываются в соответствующий диапазон (см. рис. 2). Также проводился анализ повторяемости для других типов данных, где были получены аналогичные результаты.

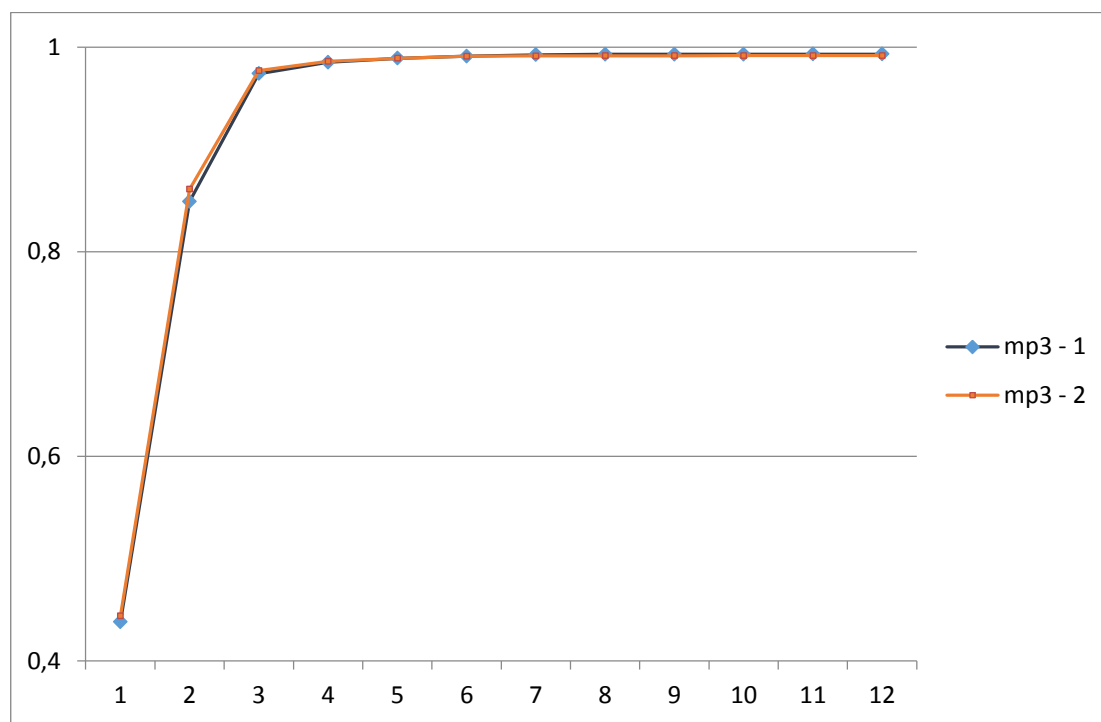


Рис. 4. Пример повторяемости показателя для данных формата mp3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в публикации показатель позволяет определять тип данных, основываясь на разнообразии слов заданной длины (5 байт) в исходной последовательности. При этом он обладает такими свойствами как:

- стабильность типизации данных, т.е. данные одного типа имеют близкие или одинаковые значения показателя;
- возможность использования показателя для определения типа данных, при этом данные с различным вероятностным распределением символов должны иметь различное значение показателя;
- частичная инвариантность к размеру данных (исследуемая часть должна быть не меньше 5кб);
- возможность использования показателя в качестве метрики для кластеризации.

В части защиты от компьютерных атак предложенный метод может быть использован при определении эксплоитов в составе файлов HTML, XML и других, отличающихся по характеристикам от исполняемых файлов и при проведении мероприятий расследования инцидентов для поиска файлов, тип которых не соответствует структуре. Рассмотрим пример html файла с внедренным вирусом в поле «SCRIPT», как показано в листинге 1:

```
<SCRIPT Language=VBScript><!--  
DropFileName = "svchost.exe"  
WriteData = "тело вируса в шестнадцатеричном виде"
```

Для предложенного файла значение классической энтропии имеет значение 0,52, что соответствует типовому html файлу. Значение показателя, предложенного в работе, равно 0,97, что указывает на аномальные для типового html файла характеристики и, соответственно, позволяет обнаружить данный вид вирусов.

Список используемых источников

1. Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
2. Lind D., Marcus B. An introduction to symbolic dynamics and coding. – Cambridge (UK): Cambridge Univ. Press, 1995. – 495 p.
3. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell Syst. Techn. Journ. – 1948. – Vol. XXVII, № 4. – P. 623–656.
4. Хинчин А.Я. Понятие энтропии в теории вероятностей // Успехи математических наук. – 1953. – Т. 3, № 55. – С. 3–20.

Д.Д. Зыков;
кандидат военных наук;
А.А. Матвеев,
кандидат военных наук;
Э.М. Халиков,
кандидат техн. наук

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ЦЕЛЯХ ОСВЕЩЕНИЯ ОБСТАНОВКИ В АРКТИКЕ

Сформулирована проблема информационного обеспечения Арктики в части реализации систем связи с использованием КА. Предложен подход к формированию структуры орбитальной группировки непрерывного и периодического обзора заданного региона.

Ключевые слова: Арктика, орбитальная группировка, передача информации, периодичность обслуживания.

ВВЕДЕНИЕ

Арктическая зона Российской Федерации имеет стратегическое значение для обеспечения национальных интересов страны. С развитием Арктики прямо связано решение долгосрочных задач государства в области социально-экономического развития и укрепления обороноспособности. Решение указанных задач невозможно без использования космических систем назначения, являющихся важными составными частями информационной инфраструктуры арктического региона, обеспечивающей функционирование систем связи, интернета, навигационных систем, систем мониторинга природных сред (атмосферы, снежного и ледового покрова, водной поверхности океана и пр.) и, наконец, системы освещения обстановки военного назначения.

Для решения указанных задач запланировано создание Единой государственной системы освещения надводной, подводной и воздушной обстановки. В ее состав войдут автоматизированные радиотехнические узлы с РЛС обнаружения воздушных и морских целей, системы освещения подводной обстановки, единый комплекс спутниковой связи с береговыми объектами, кораблями, подводными лодками и самолетами [1].

ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АРКТИКИ В ЧАСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В то же время особое географическое положение Арктики наделяет указанный регион набором весьма существенных особенностей геофизической природы, затрудняющих функционирование любых систем связи и навигации, в том числе и систем, имеющих космическую составляющую. Речь идет о таких природных явлениях, как полярная ночь, полярные сияния, поглощение радиоволн в полярной шапке, которые способны ограничить возможности космических аппаратов (КА), находящихся на геостационарных или высокоэллиптических орбитах, по информационному обмену с арктическими районами. Однако реализация систем связи на базе низкоорбитальных группировок малых КА позволяет в некоторой степени компенсировать указанные негативные явления.

Реализация систем связи на базе малых аппаратов обладает рядом преимуществ:

- низкой стоимостью изготовления и запуска КА;

- значительным сокращением затрат на наземные и летные испытания;
- сравнительно малым временем развертывания орбитальной группировки за счет возможности пакетных запусков;
- невысокими массогабаритными характеристиками приемо-передающей аппаратуры и спутниковой антенны;
- доступом абонентов непосредственно к бортовым радиотехническим комплексам, что позволяет создавать замкнутые защищенные сети связи;
- высокой стабильностью системы, поскольку даже отказ нескольких КА может повлиять только на увеличение времени ожидания связи, но не повлияет на стабильность системы в целом.

Таким образом, реализация систем связи на основе орбитальных группировок (ОГ) малых КА позволяет обеспечить потребителя в Арктике связью со временем ожидания не больше заданного [2].

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АРКТИКИ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО И ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБЗОРА ЗАДАННОГО РЕГИОНА

Решение проблемы информационного обеспечения Арктики подразумевает формирование такой баллистической структуры ОГ КА, которая обеспечила бы непрерывное обслуживание и (или) обслуживание с заданным разрывом по времени заданного широтного пояса при минимальном количестве КА. Формирование баллистической структуры в этом случае возможно различными способами:

- для случая непрерывного обзора целесообразно построение ОГ осуществлять по принципу цепочек с использованием полос непрерывного обзора;
- для случая обслуживания с заданным разрывом по времени формирование ОГ необходимо осуществлять на основе фронтальных групп или цепочек с использованием полос периодического обслуживания.

Построение структуры ОГ КА, обеспечивающей непрерывный обзор, осуществляется путем расположения плоскостей обзора таким образом, что полосы непрерывного обзора (рис. 1) соприкасаются друг с другом встык на минимальной широте.

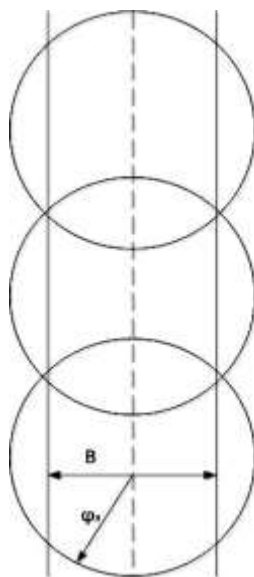


Рис. 1. Расположение зон обзора КА в полосе непрерывного обзора

Такой способ построения дает возможность обеспечивать связь в любой момент времени и в любой точке широтного диапазона [4, 5].

Формирование фронтальных групп подразумевает построение изомаршрутной ОГ, в этом случае разрыв в наблюдении арктического региона будет определяться количеством фронтальных групп, каждая фронтальная группа должна образовывать пояс непрерывного обслуживания на минимальной широте, т.е. фактически на границе региона зоны обзора КА должны располагаться встык друг к другу [5]. Реализация данного баллистического построения требует довольно большого количества КА в составе ОГ.

Уменьшение количества КА в составе ОГ возможно путем реализации зонального периодического обзора с использованием полос периодического обслуживания. В данном случае КА будут находиться на определенном расстоянии друг от друга за счет заданного времени разрыва (рис. 2).

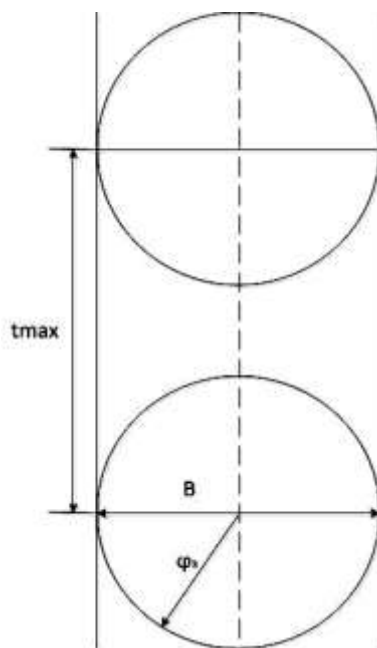


Рис. 2. Расположение зон обзора КА в полосе периодического обзора

При формировании баллистической структуры ОГ полосы периодического обзора КА располагаются встык на заданной широте так же, как и в варианте непрерывного обзора.

Такой способ построения ОГ КА дает возможность обеспечивать периодическую пакетную передачу информации и значительно уменьшить количество КА, требуемых для обеспечения устойчивого функционирования ОГ [5].

Определение оптимальной структуры ОГ происходит известными способами [5] с учетом следующих особенностей. Для определения оптимальной структуры необходимо определить ширину полосы обзора на широте ψ :

$$\Delta\lambda_{\psi_{\min}} = \frac{2 \cdot \varphi_3}{\cos \psi} \quad (1)$$

Геоцентральный угол φ_3 определяется по заданному минимальному углу возвышения над линией местного горизонта δ :

$$\varphi_3 = \arccos\left(\frac{R}{r} \cdot \cos(\delta)\right) - \delta \quad (2)$$

Заданное значение минимального угла возвышения определяет максимальное значение числа плоскостей (m), при которых возможно построить ОГ.

Для определения максимального значения необходимо найти наименьшее значение числа КА в одной плоскости n_{\min} :

$$n_{\min} = \left[\frac{T}{\Delta t} \right] + 1. \quad (3)$$

Наибольшее значение числа плоскостей определяется следующим выражением:

$$m_{\max} = \left[\frac{\pi}{\Delta \lambda_{\psi_{\min}}} \right] + 1, \quad (4)$$

тогда количество КА в составе ОГ будет определяться выражением

$$N = m \times n. \quad (5)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, реализация предлагаемых подходов к формированию баллистических структур ОГ КА позволяет сформировать устойчивую ОГ, которая позволит обеспечить непрерывной или с заданным временным разрывом связью Арктический регион. Реализация системы связи на базе малых КА имеет неоспоримые как экономические, так технические преимущества.

Список используемых источников

1. Волгин Д.А. Космическая программа дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и группировка космических аппаратов (КА) России // Научные труды института непрерывного профессионального образования. – 2016. – № 6 (6). – С. 211–216.
2. Коваленко А.Ю., Мосин Д.А., Уртминцев И.А. Оценивание эффективности обслуживания произвольного района земной поверхности КА ДЗЗ в целях экологического мониторинга // Экология и развитие общества. – 2015. – № 4 (15). – С. 45–50.
3. Коваленко А.Ю. Математические аспекты оценивания результативности применения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды СПИИРАН. – 2017. – № 4 (53). – С. 29–50.
4. Основы теории полета летательных аппаратов/ Н.Ф. Аверкиев, С.А. Богачёв, С.А. Васильков и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 242 с.

В.В. Тимофеев,
кандидат техн. наук, доцент;
В.Г. Цыбрин,
кандидат техн. наук, доцент

СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрены две стратегии использования запасных частей вычислительных комплексов автоматизированных систем наземного автоматизированного комплекса управления. При первой стратегии запасные части используются по мере выхода из строя (отказа) соответствующих им составных частей вычислительного комплекса. При второй стратегии запасные части и соответствующие им составные части вычислительного комплекса используются в процессе эксплуатации поочередно. Показано, что стратегии различимы только для неэкспоненциальных законов распределения времени безотказной работы элементов и запасных частей вычислительной системы, то есть для законов распределения с «памятью». Доказано, что при определенных условиях вторая стратегия с позиции надежности предпочтительнее первой.

Ключевые слова: запасные части, ЗИП, стратегия, надежность, резервирование, вероятность безотказной работы, закон распределения, плотность распределения, свертка плотностей.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечению надежности вычислительных комплексов (ВК) автоматизированных систем (АС) наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) всегда уделяется большое внимание, поскольку ВК являются его основным информационным звеном. Поэтому при поставках в эксплуатирующие организации и вводе в эксплуатацию ВК в обязательном порядке комплектуются запасными частями, инструментом, принадлежностями и расходным материалом (ЗИП) для поддержания работоспособности и исправности составных частей ВК в процессе эксплуатации, проведения всех видов технического обслуживания, плановых и внеплановых ремонтов [1]. Запасные части – это детали, узлы, механизмы, блоки, приборы, пульта, стойки, модули и др.

Запасные части, включенные в состав ЗИП, изготавливают по той же конструкторской и технологической документации, что и соответствующие составные части ВК. Поэтому запасные и соответствующие составные части ВК в плане надежности можно считать однородными.

Как правило, запасные части используются по мере выхода из строя (отказа) соответствующих им составных частей ВК. Это основная стратегия использования ЗИП. Назовем ее *стратегией А*. В теории надежности [2–6] при анализе надежности восстанавливаемых систем подразумевается именно такая стратегия использования резервных элементов (запасных частей). Возможна и другая стратегия, когда запасные части и соответствующие им составные части ВК используются в процессе эксплуатации поочередно. Назовем ее *стратегией В*. Сущность *стратегии В* интуитивно заключается в том, чтобы равномерно расходовать ресурс, как запасных, так и соответствующих им основных частей ВК, и тем самым увеличивать наработку до отказа, повышать его надежность.

Для сравнения названных стратегий использования запасных частей и определения условий их применения необходимо оценивать надежность характеристики ВК для обеих стратегий. Если для *стратегии А* математическая модель в теории надежности имеется, например, для общего резервирования элементов замещением с ненагруженным резервом, то для *стратегии В* ее нет. Поэтому является актуальной задача разработки математической

модели по оцениванию надежностных характеристик ВК для стратегии В на примере общего резервирования элементов замещением с ненагруженным резервом. Такой подход позволит провести объективный сравнительный анализа обеих стратегий с целью определения условий, в которых выгодна та или иная стратегия.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

Рассмотрим обе стратегии с позиции надежности на примере общего резервирования элементов ВК замещением с ненагруженным резервом [6] (рис.1). Здесь основной элемент 0 – основная часть ВК, а резервный элемент 1 – соответствующая запасная часть ВК. Основной и резервный элементы равнонадежны и имеют вероятность безотказной работы $P(t)$ и плотность $f(t)$.

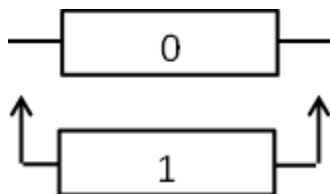


Рис. 1. Общее резервирование замещением

Математическая модель для стратегии А. Согласно [6] для m резервных элементов (запасных частей) вероятность безотказной работы резервированной системы будет определяться выражением

$$P_A(t) = \sum_{i=0}^m f^{(i)} P(t), \quad (1)$$

где $f^{(i)} P(t)$ – i -кратная свертка плотностей с $P(t)$,

$$f^{(i)} P(t) = \int_0^t f(x_1) \int_0^{t-x_1} f(x_2) \dots \int_0^{t-x_1-\dots-x_{i-1}} f(x_i) P(t-x_1-\dots-x_i) dx_i \dots dx_1.$$

Математическая модель для стратегии В. Диаграмма работы резервной системы приведена на рис. 2.

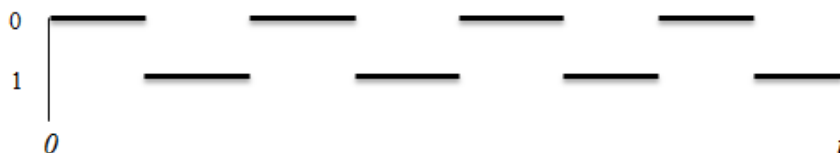


Рис. 2. Диаграмма работы резервированной системы при стратегии В

Резервированная система проработает безотказно в течение времени t при наступлении одного из трех несовместных событий:

– событие В₁ заключается в том, что основной и резервный элементы проработают безотказно в течение времени t , при этом наработка каждого из них составит $\frac{1}{2}t$;

– событие B_2 заключается в том, что основной элемент откажет в момент времени x ($x < \frac{1}{2}t$), а резервный элемент проработает исправно оставшееся время $t-x$ при условии, что до этого он исправно проработал в течение времени x ;

– событие B_3 заключается в том, что резервный элемент откажет в момент времени x ($x < \frac{1}{2}t$), а основной элемент проработает исправно оставшееся время $t-x$ при условии, что до этого он исправно проработал в течение времени x .

Событий B_1 , B_2 и B_3 проиллюстрированы на рис. 3, где сплошными линиями показана чистая наработка элементов, т.е. без учета времени нахождения в выключенном состоянии.

Вероятность безотказной работы резервированной системы $P_B(t)$ по теореме сложения вероятностей будет равна сумме вероятностей событий B_1 , B_2 и B_3 :

$$P_B(t) = \text{Вер}(B_1) + \text{Вер}(B_2) + \text{Вер}(B_3) = P\left(\frac{t}{2}\right)^2 + 2 \int_0^{\frac{t}{2}} f(x)P(t-x|x)dx,$$

где $P(t-x|x)$ – условная вероятность того, что элемент безотказно проработает в течение времени $t-x$ при условии, что до этого исправно проработал в течение времени x .

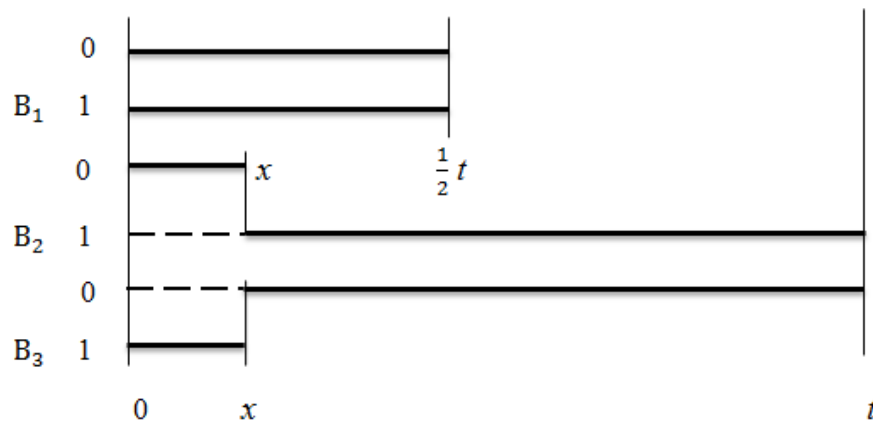


Рис. 3. Возможная наработка элементов при стратегии В

По теореме умножения вероятностей $P(t-x|x) = \frac{P(t)}{P(x)}$, тогда

$$P_B(t) = P\left(\frac{t}{2}\right)^2 + 2P(t) \int_0^{\frac{t}{2}} \frac{f(x)}{P(x)} dx.$$

Для общего случая при количестве резервных элементов равном m :

$$P_B(t) = \sum_{i=0}^m A_{m+1}^i \int_0^{\frac{t}{m+1}} f(x_1) \int_0^{\frac{t-x_1}{m}} f(x_2) \dots \int_0^{\frac{t-x_1-\dots-x_{i-1}}{2}} f(x_i) P\left(\frac{t-x_1-\dots-x_i}{m+1-i} | x_1 + \dots + x_i\right)^{m+1-i} dx_i \dots dx_1, \quad (2)$$

где

A_{m+1}^i – число перестановок из $m+1$ по i ,
 $P\left(\frac{t-x_1-\dots-x_i}{m+1-i} | x_1 + \dots + x_i\right)$ – условная вероятность того, что элемент проработает безотказно в течение времени $\frac{t-x_1-\dots-x_i}{m+1-i}$ при условии, что он ранее проработал безотказно в течение времени $x_1 + \dots + x_i$,

$$P\left(\frac{t-x_1-\dots-x_i}{m+1-i} | x_1 + \dots + x_i\right) = \frac{P\left(\frac{t+(m-i)(x_1+\dots+x_i)}{m+1-i}\right)}{P(x_1+\dots+x_i)}.$$

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗИП

На рис. 4 и 5 приведены зависимости вероятностей безотказной работы резервированной системы $P_A(t)$ и $P_B(t)$. Вероятности $P_A(t)$ и $P_B(t)$ вычислялись по формулам (1) и (2) для $m = 1$. Было принято, что вероятности безотказной работы элементов и плотности подчинены закону распределения Вейбулла с параметрами $k = 2$ и $\lambda = 0,0001[1/ч]$ (рис. 4) и параметрами $k = 0,5$ и $\lambda = 0,01[1/ч]$ (рис. 5). Выбор закона Вейбулла обусловлен тем, что он одинаково хорошо описывает надежность технических объектов на всех этапах их эксплуатации. В первом случае (рис. 4) параметры закона Вейбулла соответствуют этапу приработки элементов системы, а во втором случае (рис. 5) – этапу их старения (интенсивного износа).

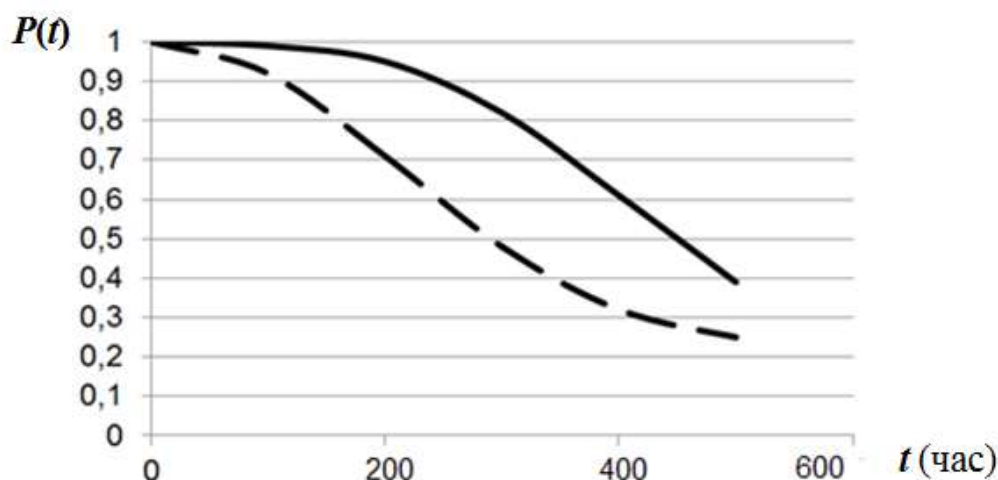


Рис. 4. Зависимости вероятностей безотказной работы резервированной системы на этапе старения:
 $P_A(t)$ – для стратегии А (пунктирная линия);
 $P_B(t)$ – для стратегии В (сплошная линия)

При экспоненциальном распределении времени безотказной работы элементов, который обычно с большими допущениями используется на этапе нормальной эксплуатации и только для нерезервированных систем, данные стратегии не различимы, так как экспоненциальный закон распределения с параметром λ является законом без «памяти». Покажем это на примере вычислений по формулам (1) и (2) для $m = 2$, вероятности безотказной работы элементов $P(t) = e^{-\lambda t}$ и плотности $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$.

Для стратегии А:

$$P(t)_A = e^{-\lambda t} + \int_0^t \lambda e^{-\lambda x_1} e^{-\lambda(t-x_1)} dx_1 + \\ + \int_0^t \lambda e^{-\lambda x_1} \int_0^{t-x_1} \lambda e^{-\lambda x_2} e^{-\lambda(t-x_1-x_2)} dx_2 dx_1 = \\ = e^{-\lambda t} \left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2} \right).$$

Для стратегии В:

$$P(t)_B = e^{-3\lambda \frac{t}{3}} + \int_0^{\frac{t}{3}} \lambda e^{-\lambda x_1} \frac{e^{-2\lambda(\frac{t+x_1}{2})}}{e^{-2\lambda(x_1)}} dx_1 + \\ + 6 \int_0^{\frac{t}{3}} \lambda e^{-\lambda x_1} \int_0^{\frac{t-3x_1}{2}} \lambda e^{-\lambda x_2} \frac{e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda(x_1+x_2)}} dx_2 dx_1 = \\ = e^{-\lambda t} \left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2} \right).$$

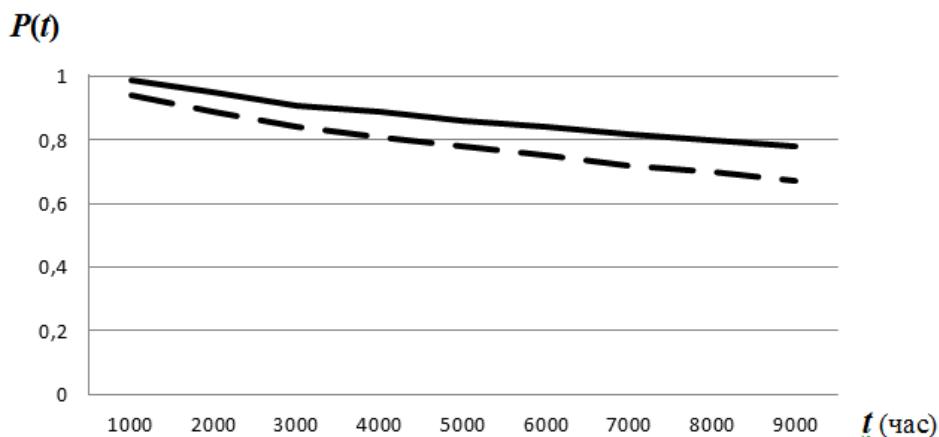


Рис. 5. Зависимости вероятностей безотказной работы резервированной системы на этапе приработки:
 $P_A(t)$ – для стратегии А (пунктирная линия);
 $P(t)$ – для стратегии В (сплошная линия)

В обоих случаях получен одинаковый результат. Это свидетельствует о том, что при экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы основных и соответствующих им запасных частей ВК обе стратегии дают одинаковую вероятность безотказной работы. Однако, учитывая тот факт, что экспоненциальный закон в теории надежности имеет в основном теоретическое значение, поскольку позволяет получать конечные выражения для показателей надежности объектов, и описывает время безотказной работы реальных нерезервированных объектов весьма грубо и только на этапе нормальной эксплуатации, можно сделать вывод о предпочтении стратегии В. При этом, чем сильнее закон распределения времени безотказной работы объекта отличается от экспоненциального, тем выгода от применения стратегии В больше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в статье математическая модель для стратегии В и сравнительный анализ обеих стратегий использования запасных частей ВК имеет наряду с важным теоретическим значением большую прикладную значимость. Научной новизной полученных результатов является разработка математической модели для оценивания с позиции надежности стратегии В, когда запасные и соответствующие им составные части ВК используются в процессе эксплуатации поочередно. Прикладной аспект полученных результатов заключается в проведенном сравнительном анализе обеих стратегий, который показал, что стратегия В с позиции надежности выгоднее стратегии А. Применение стратегии А может быть оправдано только для законов, близких к экспоненциальному, и только на этапе нормальной эксплуатации ВК. Обычное же применение на практике стратегии А использования запасных частей ВК обусловлено меньшими затратами для ее реализации обслуживающим персоналом.

Список используемых источников

1. ГОСТ 2.601–2013. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эксплуатационные документы. – М.: Стандартинформ, 2013.

2. Гришко А.К. Выбор оптимальной стратегии управления надежностью и риском на этапах жизненного цикла сложной системы // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 2. – С. 26–31.
3. Шебе Х., Шубинский И.Б. Предельная надежность структурного резервирования // Надежность. – 2016. – № 16. – С. 3–13.
4. Антонов А.В., Пляскин А.В., Татаев Х.Н. К вопросу расчета надежности резервированных структур с учетом старения элементов // Надежность. – 2013. – № 1. – С. 55–67.
5. Долгин В. П., Харченко А. О. Надежность технических систем: учеб. пособие. – М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 167 с.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

В.Н. Арсеньев,
доктор техн. наук, профессор;
С.Ю. Балуев,
кандидат техн. наук, доцент;
Е.Н. Белихин;
А.А. Ядренкин,
кандидат техн. наук, доцент

ОЦЕНИВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА БОРТОВЫМИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБСТАНОВКОЙ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В публикации рассматривается задача оценивания характеристик точности определения параметров орбиты наблюдаемого космического объекта по данным угловых измерений, полученным с помощью бортовых оптико-электронных средств космических аппаратов-измерителей, входящих в космический сегмент системы контроля космического пространства. Получены зависимости погрешности определения координат космического объекта от параметров бортовых оптико-электронных средств для различных условий измерений.

Ключевые слова: космический объект, космический аппарат-измеритель, оптико-электронные средства, триангуляционный метод, точность определения параметров орбиты.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно проводятся исследования по созданию космического сегмента системы контроля космического пространства (СККП), включающего определенное количество космических аппаратов (КА), имеющих орбиты в одной или нескольких плоскостях и ведущих постоянное наблюдение за космическими объектами (КО). Одной из основных задач, возлагаемых на космический сегмент СККП, является определение параметров движения КО, попадающих в его поле зрения.

В работах [1, 2] обоснована принципиальная возможность определения параметров орбит КО по данным угловых измерений отметок от КО в поле зрения матричных приемников оптического излучения (ПОИ) бортовых оптико-электронных средств (БОЭС), расположенных на двух космических аппаратах-измерителях (КАИ). Качество решения этой задачи существенно зависит от способа построения системы КАИ космического сегмента СККП, метода определения параметров траектории движения КО и характеристик используемых БОЭС.

Ниже рассматривается метод космической триангуляции [1], позволяющий определить дальность до КО и параметры его орбиты с высокой точностью. Система КАИ космического сегмента СККП состоит из 8 КАИ, которые находятся в одной плоскости орбиты на угловом расстоянии в 45° на высотах $H=1200...3000$ км от поверхности Земли. На каждом КАИ имеется по два комплекта БОЭС, оси визирования которых направлены в сторону соседних КАИ. При таком построении группировки КАИ формируются зоны двойного обзора (ЗДО) – области пространства, где пересекаются поля зрения двух БОЭС. При 8 КАИ число ЗДО равно пяти. При определенных условиях эти зоны создают сплошную трехмерную область обзора.

В статье [3] определен угол поля зрения БОЭС, при котором образуется сплошное поле обзора, а в работе [2] проведено исследование влияния погрешности определения базиса (расстояния между двумя КАИ) на точность оценивания параметров орбит КО. При этом

следует заметить, что существенное влияние на точность определения параметров движения КО оказывают также погрешности угловых измерений БОЭС КАИ.

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ОШИБКИ ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ОТ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВЫХ ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Рассматривается движение КО в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК) [1]. В основу определения положения КО положен стереоскопический метод (метод космической триангуляции) [2], в соответствии с которым производятся измерения углового положения Ψ_1 отметки от КО в поле зрения БОЭС КАИ₁ и углового положения Ψ_2 отметки от КО в поле зрения БОЭС КАИ₂ (рис. 1). На основании априорной информации о координатах КАИ₁ и КАИ₂ определяется длина базиса d (расстояние между КАИ₁ и КАИ₂). По измеренным значениям углов Ψ_1 и Ψ_2 определяется расстояние между КАИ и КО, а затем координаты КО и параметры его орбиты.

Определение реальных центров положения отметок КО в поле зрения ПОИ БОЭС относительно их истинного положения производится с некоторыми ошибками, что обусловлено характером распространения электромагнитного излучения, принципом формирования координатной информации в матричном ПОИ и его техническими характеристиками [3]. Погрешности определения центров положения КО приводят к появлению ошибок определения координат КО в АГЭСК: $\Delta X_{\text{ко}}$, $\Delta Y_{\text{ко}}$, $\Delta Z_{\text{ко}}$. Они, как и погрешности $\Delta \rho_1$, $\Delta \rho_2$ определения углового положения КО в поле зрения ПОИ, являются случайными и находятся в пределах некоторой трехмерной области. Формирование этой области при проведении угловых измерений КО с двух космических аппаратов КАИ₁ и КАИ₂ показано на рис. 1.

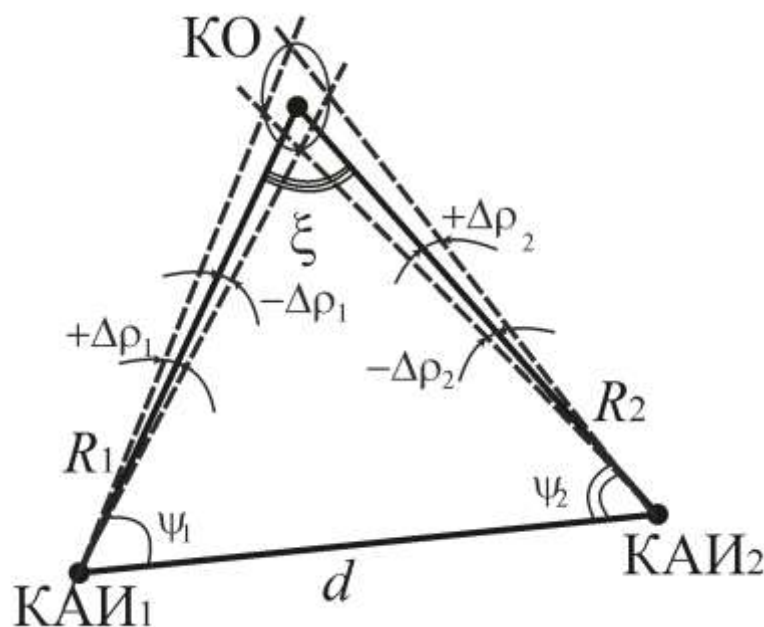


Рис. 1. Формирование области ошибок определения координат КО

Для оценивания точности определения координат КО в АГЭСК необходимо найти зависимости ошибок определения координат КО от погрешностей определения положения отметок от КО в ПОИ, а также от углового положения КО и номера зоны двойного обзора, в которой находится КО. Также необходимо определить максимальное и минимальное значе-

ния угла ψ между базисом и направлением на КО, в пределах которых осуществляются измерения.

Исходными данными являются:

- количество КАИ в плоскости орбиты космического сегмента СККП: $N = 8$;
- высота орбиты КАИ: $H = 2200$ км;
- угол между базисом КАИ и направлением оси визирования ПОИ для i -й ЗДО: $\lambda_i, i = \overline{1,5}$;
- длина базиса между двумя КАИ для i -й ЗДО: $d_i, i = \overline{1,5}$;
- диапазон изменения углов по горизонтали в ПОИ: $[-\alpha_{\max}; \alpha_{\max}]$, $\alpha_{\max} = 13,7^\circ$;
- диапазон изменения углов по вертикали в ПОИ: $[-\beta_{\max}; \beta_{\max}]$, $\beta_{\max} = 13,7^\circ$;
- угол поля зрения ПОИ: $2\omega = 38^\circ$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ И МИНИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УГЛОВ МЕЖДУ БАЗИСОМ И НАПРАВЛЕНИЕМ НА КОСМИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ

Космический объект, попадая в зону двойного обзора оставляет отметки на приемниках оптического излучения БОЭС двух КАИ. Измерительный треугольник КАИ₁, КАИ₂ и КО (рис. 2) находится в плоскости, которая пересекает плоскость орбиты космической группировки по линии КАИ₁ – КАИ₂. Приборные системы координат (ПСК) формируются в ПОИ КАИ таким образом, что их оси ординат β_1 в ПОИ₁ и β_2 в ПОИ₂ лежат в плоскости орбиты. Оси абсцисс α_1 и α_2 лежат в поле зрения ПОИ и перпендикулярны осям β_1 и β_2 соответственно. Положение отметки КО в приборной системе координат ПОИ КАИ₁ характеризуется координатами $[\alpha_1; \beta_1]$, а отметки КО в ПОИ КАИ₂ – $[\alpha_2; \beta_2]$.

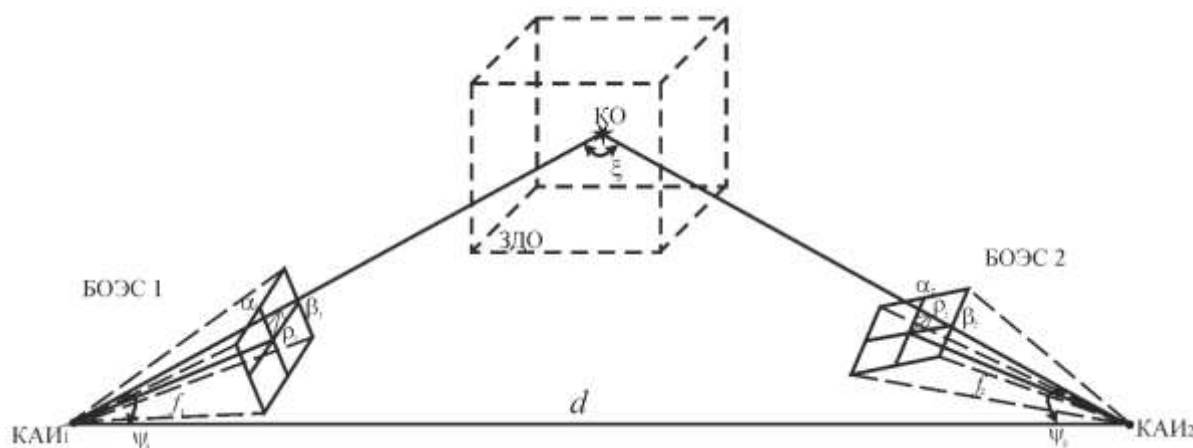


Рис. 2. Приборные системы координат в матричных ПОИ КАИ₁ и КАИ₂

При выполнении условия

$$\frac{(\beta_2 + \lambda)}{(\beta_1 + \lambda)} = -\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad (1)$$

делается вывод о том, что отметки в ПОИ₁ и ПОИ₂ принадлежат одному и тому же КО.

По номерам КАИ, которые засекли один КО, определяется номер ЗДО, в которой данный КО находится. Так, при попадании в поле зрения КАИ₁ и КАИ₂ КО находится в ЗДО1, в поле зрения КАИ₁ и КАИ₃ – в ЗДО2 и т.д.

Задание координат отметок от КО в матричных ПОИ КАИ₁ и КАИ₃ для ЗДО2 представлено на рис. 3.

Для нахождения погрешности определения расстояния между КАИ и КО необходимо задать ошибку определения углового положения отметки от КО в ПОИ $\Delta\rho$, которая формирует границу области рассеивания при определении центра положения отметки от КО в ПОИ (рис. 4).

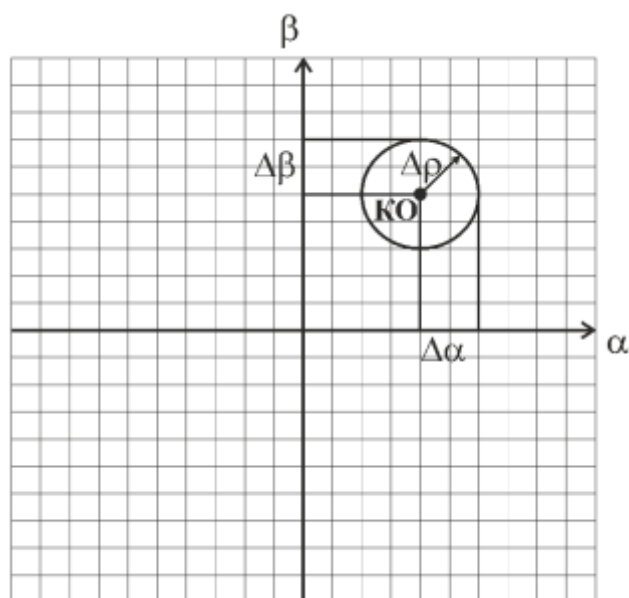


Рис. 4. Область рассеивания при определении центра положения отметки от КО в ПОИ

Угол между базисом и направлением на КО в ПОИ обоих КАИ с учетом ошибки $\Delta\rho$ рассчитывается по формуле

$$\psi'_1 = \psi_1 \pm \Delta\rho; \psi'_2 = \psi_2 \pm \Delta\rho. \quad (5)$$

Расстояния между КАИ и КО с учетом $\Delta\rho$ определяются по формулам (3) и (4) с учетом выражения (5):

$$R'_1 = \frac{d \sin(\psi'_2)}{\sin(\pi - \psi'_1 - \psi'_2)}, \quad (6)$$

$$R'_2 = \frac{d \sin(\psi'_1)}{\sin(\pi - \psi'_1 - \psi'_2)}. \quad (7)$$

При положительном значении $\Delta\rho$ расстояния R_1, R_2 увеличиваются и формируется верхняя граница области неопределенности расстояния между КАИ и КО, при отрицательном значении $\Delta\rho$ – уменьшаются и формируется нижняя граница.

Средняя погрешность ΔR относительно центра данной области находится по формуле

$$\Delta R = \frac{R'_{\max} - R'_{\min}}{2}. \quad (8)$$

На рис. 5 показаны графики зависимостей погрешности ΔR определения расстояния между КАИ и КО от угла ψ между базисом и направлением на КО при различных значениях погрешности $\Delta\rho$ определения углового положения КО в ПОИ в различных ЗДО.

Исследования проводились при следующих условиях:

- отметка КО в поле зрения ПОИ перемещается по диагонали ($\alpha = \beta$);
- КО находится в центральном сечении ЗДО ($\psi_1 = \psi_2$).

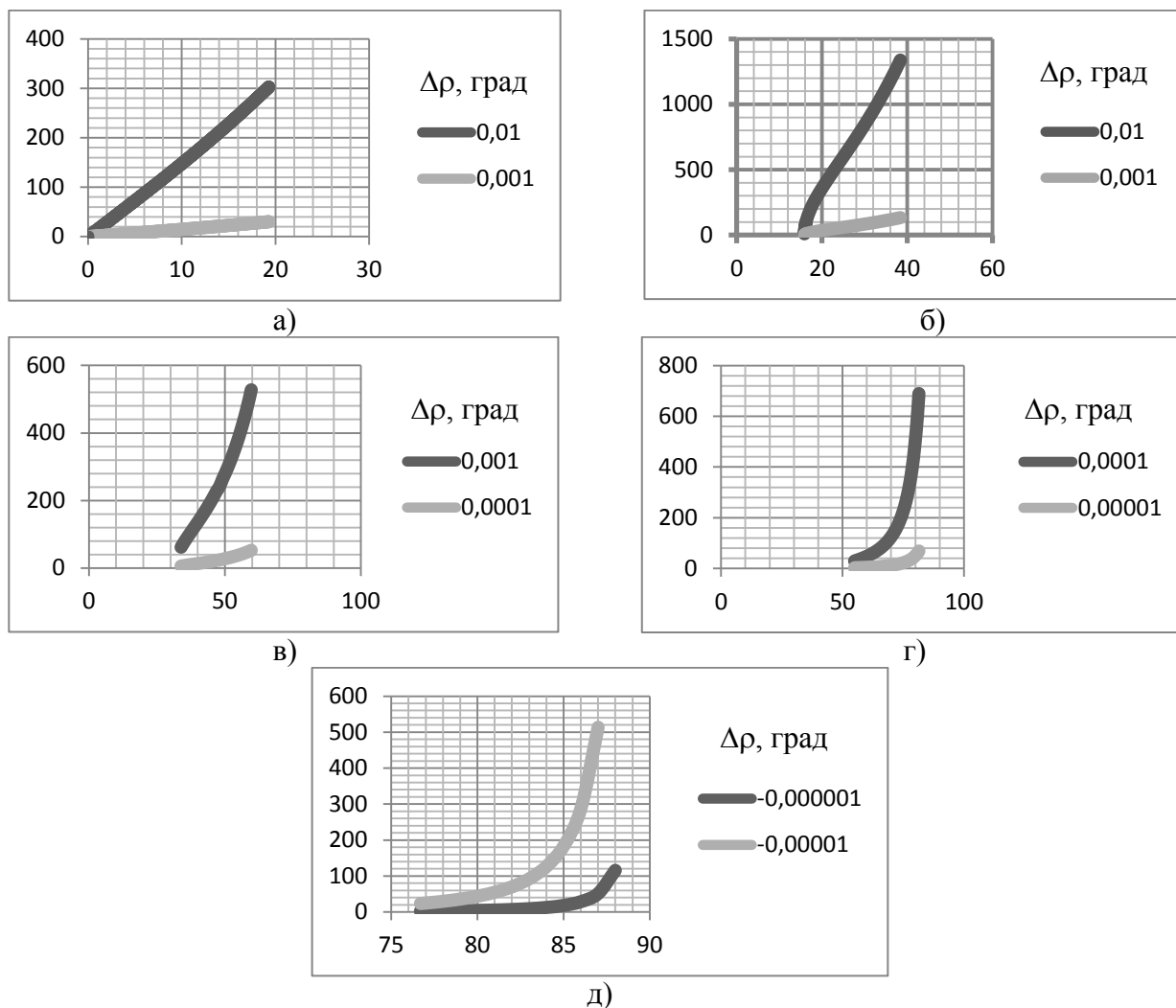


Рис. 5. Зависимости погрешности определения расстояния КАИ-КО ΔR (м) от угла ψ (град) между базисом и направлением на КО:
а – в ЗДО1; б – в ЗДО2; в – в ЗДО3; г – в ЗДО4; д – в ЗДО5

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Зависимость погрешности ΔR определения расстояния от КАИ до КО от угла ψ между базисом и направлением на КО является нелинейной.
2. При одинаковых значениях угла ψ большей ошибке $\Delta \rho$ соответствует большее значение погрешности ΔR .
3. С увеличением номера ЗДО (а соответственно, и угла ψ) при заданном значении $\Delta \rho$ ошибка ΔR увеличивается. Следовательно, ЗДО5 вводит самые строгие ограничения на величину $\Delta \rho$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Погрешность определения координат КО стереоскопическим методом зависит от погрешности определения расстояний от КАИ до КО, которая, в свою очередь, зависит от ошибки определения угла между направлением на КО и базисом в приемнике оптического излучения КАИ.

Полученные результаты позволяют оценить погрешности определения координат КО в

АГЭСК на основании угловых измерений положения КО в ПОИ КАИ для всех зон двойного обзора.

Зависимости $\Delta R(\psi)$ могут быть использованы для решения обратной задачи – обоснования требований к погрешности определения угловых координат отметок от КО в ПОИ исходя из требований к точности определения координат космического объекта [4].

Список используемых источников

1. Вариант баллистического построения орбитальной системы контроля космических объектов в ближней зоне околоземного космического пространства / В.К. Семенихин, Д.В. Кириченко, А.А. Рыжих и др. // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 646. – С. 112–116.

2. Половников В.И., Скунтицкий В.М. Теоретические основы проектирования орбитальных систем космической триангуляции: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 123 с.

3. Арсеньев В.Н., Балуев С.Ю., Белихин Е.Н. Обоснование требований к бортовым оптико-электронным средствам космических аппаратов наблюдения за обстановкой в космическом пространстве // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2018. – Вып. 665. – С. 167–172.

4. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с.

Е.В. Басотин,
кандидат техн. наук, доцент;
С.В. Загорный;
А.Н. Миронов,
доктор техн. наук, профессор;
О.Л. Шестопалова,
кандидат техн. наук, доцент
филиал «Восход» МАИ

МОДЕЛИ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ЗАПРАВКИ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ НЕЧЕТКИХ ОЦЕНКАХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОТКАЗОВ И ВЕЛИЧИНЫ УЩЕРБА

В публикации рассматривается задача совершенствования моделей оценивания показателей риска эксплуатации комплексов заправки РКН в условиях неопределенности, касающейся оценок вероятностей отказа и величины ущерба. Показано, что в условиях неопределенности, связанной с ограниченными объемами исходной статистической информации, традиционные статистические модели оценки риска применить затруднительно. В статье описан предложенный комплекс математических моделей с использованием нечетких оценок вероятностей отказов и ущерба.

Ключевые слова: безопасность эксплуатации, риск, средний ожидаемый ущерб, вероятность безотказной работы, неопределенность, нечеткость.

Наиболее важными составными частями ракетно-космических комплексов (РКК) с точки зрения влияния на безопасность эксплуатации являются комплексы заправки (КЗ) ракет космического назначения (РКН) компонентами ракетных топлив (КРТ). В связи с этим обеспечение безопасности эксплуатации КЗ РКН является приоритетным направлением деятельности органов управления эксплуатацией РКК [1].

Научно-обоснованное обеспечение безопасности эксплуатации КЗ РКН должно базироваться на проработанной системе научных, организационных и технических мероприятий, позволяющих комплексно (с использованием всех видов исходных данных) оценить фактические значения показателей безопасности и обосновать необходимые мероприятия, позволяющие снизить уровни остаточного риска до допустимых пределов.

Безопасность эксплуатации КЗ РКН зависит, главным образом, от их способности не наносить ущерб персоналу, населению и окружающей природной среде, а важнейшим показателем уровня безопасности эксплуатации КЗ РКН является риск эксплуатации, под которым понимается величина вероятного ущерба как комплексный показатель, учитывающий степень возможности возникновения событий, приводящих к ущербу, и величину самого ущерба [1, 2].

Результирующую величину ущерба любого объекта эксплуатации можно рассматривать в виде суммы потерь, вызванных снижением его качества, например утратой полезных свойств, потерями от простоев, затратами на ремонт или полную замену.

Существующая нормативная база регламентирует порядок оценивания риска эксплуатации, основываясь, как правило, на статистических оценках вероятности отказов и ущерба [3–7].

Применительно к оцениванию риска оборудования современных и перспективных КЗ РКН такие оценки имеют ограниченную область применения, поскольку КЗ РКН представляют собой не крупносерийные, а малосерийные и зачастую уникальные объекты, которые эксплуатируются в статистически неоднородных условиях, а проявления нештатных условий эксплуатации столь многообразны, что к их совокупности неприменимо статистическое истолкование вероятности. Следовательно, в данных условиях перспективным подходом мо-

жет стать применение экспертных оценок вероятностей отказов и ущерба, основанных на опыте и интуиции специалистов в области эксплуатации систем и агрегатов КЗ РКН.

Точечные экспертные оценки показателей риска в условиях неполноты исходной информации и реальной неопределенности получить затруднительно, в связи с чем выходом из сложившейся ситуации может быть применение теории нечетких множеств для оценки вероятностей отказов и ущерба от их возникновения [8].

Рассмотрим основные направления совершенствования математических моделей путем использования нечетких оценок вероятностей отказов и ущерба, предусматривающие различные сочетания типов оценок вероятностей и ущерба.

Традиционная аналитическая оценка изменения риска эксплуатации КЗ РКН $R(t)$ определяется как изменение во времени математического ожидания возможного ущерба от отказов элементов КЗ РКН, приводящих к аварии на объекте [1].

В рамках статистического подхода [9] можно получить следующие аналитические оценки изменения риска эксплуатации КЗ РКН:

1. Средний ожидаемый ущерб:

$$R(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} (1 - P_j(t)) \times C_j(t), \quad (1)$$

где $1 - P_j(t)$ – вероятность критичных отказов (следствием которых может быть авария на КЗ РКН);

$P_j(t)$ – вероятность безотказной работы относительно j -го критичного отказа;

$N_{\text{кр}}$ – общее число возможных критичных отказов;

$C_j(t)$ – оценка величины ущерба при j -м критичном отказе в момент времени t .

2. Верхняя доверительная граница среднего ожидаемого ущерба:

$$\bar{R}_q(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} (1 - \underline{P}_{jq}(t)) \times C_j(t), \quad (2)$$

где $1 - \underline{P}_{jq}(t)$ – оценка верхней доверительной границы вероятности критичных отказов;

$\underline{P}_{jq}(t)$ – оценка нижней доверительной границы вероятности безотказной работы.

В условиях фактической неопределенности наряду с классическими показателями среднего ожидаемого ущерба [выражение (1)] и верхней доверительной границы среднего ожидаемого ущерба [выражение (2)] могут использоваться нечеткие оценки вероятностей отказов и ущерба. Рассмотрим следующие варианты математических моделей:

1. В случае нечеткой оценки нижней доверительной границы вероятности безотказной работы и четкой оценки ущерба имеем:

$$\bar{\tilde{R}}_q(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} [1 - \underline{\tilde{P}}_{jq}(t)] \times C_j(t), \quad (3)$$

или

$$\bar{\tilde{R}}_q(t) = \{r(t), \mu_{\bar{\tilde{R}}_q(t)}(r)\}, \quad (4)$$

$$r(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} [1 - \underline{P}_{jq}(t)] \times C_j(t), \quad \mu_{\bar{\tilde{R}}_q(t)}(r) = \mu_{\text{ндг}}, \quad (5)$$

где $\mu_{\text{ндг}}$ – функция принадлежности нечеткого множества $\underline{\tilde{P}}_{jq}(t)$.

2. В случае четкой оценки вероятности безотказной работы и нечеткой оценки ущерба имеем:

$$\underset{\sim}{R}(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} [1 - P_j(t)] \times \underset{\sim}{C}_j(t), \quad (6)$$

или

$$\underset{\sim}{R}(t) = \{r(t), \mu_{\underset{\sim}{R}(t)}(r)\}, \quad (7)$$

$$r(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} [1 - P_j(t)] \times C_j(t), \quad \mu_{\underset{\sim}{R}(t)}(r) = \mu_{C_j}, \quad (8)$$

где μ_{C_j} – функция принадлежности нечеткого множества $\underset{\sim}{C}_j(t)$.

3. В случае нечеткой оценки нижней доверительной границы вероятности безотказной работы и нечеткой оценки ожидаемого ущерба имеем:

$$\overline{\underset{\sim}{R}}_q(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} [1 - \underset{\sim}{P}_{jq}(t)] \times \underset{\sim}{C}_j(t), \quad (9)$$

или

$$\overline{\underset{\sim}{R}}_q(t) = \{r(t), \mu_{\overline{\underset{\sim}{R}}_q(t)}(r)\}, \quad (10)$$

$$r(t) = \sum_{j=1}^{N_{\text{кр}}} [1 - \underset{\sim}{P}_{jq}(t)] \times C_j(t), \quad (11)$$

$$\mu_{\overline{\underset{\sim}{R}}_q(t)}(r) = \sup_{r=F[\underset{\sim}{P}_{jq}(t), \underset{\sim}{C}_j]} \min(\mu(r), \mu(\underset{\sim}{C}_j)). \quad (12)$$

В данной статье не рассматриваются методические аспекты экспертного оценивания значений функций принадлежности (5), (8) и (12), так как эти вопросы более подробно изложены в ряде работ, например [10, 11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нечеткие экспертно-аналитические оценки риска, получаемые на основании описанных выше моделей, могут использоваться в следующих целях: для обоснования объема и сроков проведения операций дополнительного технического обслуживания и ремонта элементов КЗ РКН; для обоснования введения защитных и блокировочных автоматических средств; в качестве исходных данных при обучении персонала действиям в нештатных ситуациях; для корректирования интервалов продления назначенного ресурса и срока службы и т.п.

Применение нечетких экспертных оценок вероятностей отказов и ущерба позволяет расширить информационную базу принятия решений по управлению эксплуатацией КЗ РКН в случаях невозможности применения статистических методов из-за ограниченного объема исходных данных.

Список используемых источников

1. Интеллектуальное управление риском при эксплуатации сложных технологических систем: монография / Е.И. Бессонов, П.Е. Бессонов, Д.А. Чагин и др.; под ред. д-ра техн. наук профессора А.Н. Миронова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – 523 с.
2. Анализ путей решения проблемы управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов / О.Л. Шестопалова, А.Н. Миронов, Е.В. Басотин и др. // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 6–2. – С. 282–287. – URL: <http://elibrary.ru/download/71789529.pdf> (дата обращения: 16.05.2018).
3. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 26 с.
4. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 12 с.
5. ГОСТ 12.0.002-2014. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 28 с.
6. ГОСТ 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 26 с.
7. ГОСТ Р 54317-2011. Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2011. – 28 с.
8. Сизяков Н.П., Шестопалова О.Л. Прогнозирование соответствия характеристик космических средств предъявляемым требованиям на основе использования нечеткой регрессионной модели // *Информация и космос*. – 2010. – № 1. – С. 133–135.
9. Севастьянов Д.А., Шестопалова О.Л. Пути и методы управления развитием системы информационного обеспечения эксплуатации космических средств // *Информация и космос*. – 2013. – № 3. – С. 73–76.
10. Моделирование процесса функционирования системы технической эксплуатации территориально-распределенной информационной системы / В.Л. Гузенко, А.В. Клепов, А.Н. Миронов и др. // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/116-12362> (дата обращения: 16.05.2018).
11. Оценивание показателей готовности элементов системы сбора и обработки информации о характеристиках эксплуатационных процессов / А.В. Клепов, В.Л. Гузенко, Е.А. Миронов и др. // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 3. – URL: <http://www.science-education.ru/117-13309> (дата обращения: 22.05.2018).

В.В. Бурмистров,
кандидат техн. наук;
М.Ю. Зоткин,
кандидат техн. наук;
В.И. Миронов,
доктор техн. наук, профессор

РАСЧЕТ ТЕРМИНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ РАЗВОРОТОМ КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА РАСХОДА ТОПЛИВА

Рассмотрена задача расчета терминальной программы управления угловым разворотом динамически несимметричного космического робота, которая реализует перспективный принцип управления по свободным траекториям углового движения по трем каналам одновременно при минимальных затратах рабочего тела управляющих реактивных двигателей. Представлены результаты численного моделирования, показывающие практическую реализуемость разработанного алгоритма.

Ключевые слова: космический робот, метод приближенного корректирующего оператора, принцип максимума Л.С. Понтрягина.

ВВЕДЕНИЕ

Космические роботы (КР) в настоящее время находят применение в ряде областей освоения космического пространства. Основными перспективными направлениями использования КР в космической технике являются использование роботов на поверхности планет; техническое обслуживание и сбор данных с обслуживаемого КА, диагностика КА, погрузочно-разгрузочные и спасательные работы на орбите; увод с орбиты космического мусора и своих орбитальных аппаратов и др.

Для решения приведенных задач КР должен совершать маневрирование, которое позволяет осуществлять следующие операции:

- сближение с орбитальным объектом (ОО);
- наблюдение ОО;
- стыковку с ОО;
- расстыковку и отчаливание от ОО.

Сложность выполнения задачи сближения и при необходимости стыковки с ОО обусловлена отсутствием априорной информации об ориентации ОО. Это приводит к необходимости разработки новых подходов к решению задач оптимального управления относительным движением КР в окрестности ОО.

Задача оптимального управления угловым разворотом в общем случае заключается в определении вектора управляющего момента, который обеспечивает перевод КР из заданного начального в требуемое конечное угловое состояние по траекториям, описываемым соответствующими системами дифференциальных кинематических и динамических уравнений при наличии ограничений, и при этом достигается экстремум принятого функционала, характеризующего качество управления. В общем случае эта задача является существенно нелинейной и относится к классу решения задач оптимизации динамических процессов. При ее решении вводятся некоторые упрощающие положения, которые позволяют получить приближенный квазиоптимальный результат, удобный для практической реализации с помощью бортовых вычислительных средств.

ЗАДАЧА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА Л.С. ПОНТРЯГИНА

Для обеспечения энергетической эффективности разработанного алгоритма в публикации рассмотрена задача расчета оптимальной программы управления по определению вектора управляющего углового ускорения:

$$\bar{U}(t) = (U_x, U_y, U_z)^T,$$

обеспечивающего пространственный угловой разворот за заданное время T динамически несимметричного КР с реактивными управляющими двигателями (УРД) в строгой оптимизационной постановке на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина [4] по критерию минимума суммарного расхода рабочего тела:

$$I = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^3 \dot{G}_i(t) dt = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^3 \frac{|U_i(t)| dt}{K_i}, \text{ при } 0 < \dot{G}_i(t) < \dot{G}_{\max i}, \bar{u}(t) \in \Omega_u,$$

$$U_i(t) = |U_i(t)| \alpha_i(t),$$

$$|U_i(t)| = K_i \dot{G}_i(t),$$

$$K_i = \frac{P_{ydi} l_i}{I_i}, \quad i = x, y, z,$$

где $|U_i(t)|$ – модуль управляющего ускорения;

P_{ydi} – удельная тяга УРД;

l_i – плечо действия тяги;

I_i – момент инерции КР;

$\dot{G}_i(t)$ – секунднй расход рабочего тела;

$\dot{G}_{\max i}$ – максимальный допустимый секунднй расход рабочего тела;

$\alpha_i(t)$ – знак управляющего ускорения;

Ω_u – область управления.

Данная задача поставлена для кватернионной модели углового движения с использованием параметров Родрига – Гамильтона [1] и с учетом ограничений по секундному расходу рабочего тела по каждому каналу управления:

$$\dot{\bar{p}} = \bar{f}_p(\bar{p}, \bar{\omega}), \quad \dot{\bar{\omega}} = \bar{f}_\omega(\bar{p}, \bar{\omega}) + \bar{U}(t),$$

где $\dot{\bar{p}}$ – вектор параметров Родрига – Гамильтона, $\dot{\bar{p}} = (p_0, p_1, p_2, p_3)^T$;

$\dot{\bar{\omega}}$ – вектор угловой скорости КР в связанной системе координат, $\dot{\bar{\omega}} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$.

При этом

$$\bar{f}_p = (f_{p0}, f_{p1}, f_{p2}, f_{p3})^T, \quad (1)$$

где $f_{p0} = 0,5(0p_0 - \omega_x p_1 - \omega_y p_2 - \omega_z p_3)$;

$$f_{p1} = 0,5(\omega_x p_0 + 0p_1 - \omega_y p_2 - \omega_z p_3);$$

$$f_{p2} = 0,5(\omega_y p_0 - \omega_x p_1 + 0p_2 + \omega_z p_3);$$

$$f_{p3} = 0,5(\omega_z p_0 + \omega_y p_1 - \omega_x p_2 + 0p_3);$$

$$\bar{f}_\omega = (f_{\omega x}, f_{\omega y}, f_{\omega z})^T, \quad (2)$$

где $f_{\omega x} = ((I_y - I_z)/I_x)\omega_y \omega_z + U_x$;

$$f_{\omega y} = ((I_z - I_x)/I_y)\omega_x \omega_z + U_y;$$

$$f_{\omega z} = ((I_x - I_y) / I_z) \omega_x \omega_y + U_z;$$

\bar{f}_{ω} – вектор гироскопических ускорений, обусловленный перекрестными связями каналов управления.

Вектор оптимального управления $\bar{U}(t)$ в общем случае должен обеспечить разворот КР из начального фазового состояния $\bar{q}_0 = (\bar{p}_0, \bar{\omega}_0)^T$ в требуемое конечное состояние $\bar{q}_T = (\bar{p}_T, \bar{\omega}_T)^T$ за заданное время T и удовлетворять краевому уравнению

$$\bar{S}(T, \bar{U}(t)) = \bar{q}[T, \bar{U}(t), \bar{q}_0] - \bar{q}_T = 0.$$

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ТЕРМИНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ РАЗВОРОТОМ КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА

С использованием принципа максимума Л.С. Понтрягина исходная задача оптимизации программы управления сводится к двухточечной краевой задаче для Π -системы дифференциальных уравнений 14-го порядка при наличии ограничений на управляющие функции:

$$\dot{\bar{p}} = \bar{f}_p(\bar{p}, \bar{\omega}); \quad \dot{\bar{\omega}} = \bar{f}_{\omega}(\bar{p}, \bar{\omega}) + \bar{U}(t); \quad \dot{\bar{\psi}} = -\partial H / \partial \bar{p}; \quad \dot{\bar{\varphi}} = -\partial H / \partial \bar{\omega},$$

где $\bar{\psi}, \bar{\varphi}$ – векторы сопряженных переменных;

H – гамильтониан Π -системы,

$$H = \bar{\varphi}^T \bar{f}_p + \bar{\psi}^T (\bar{f}_{\omega} + \bar{U}(t)) - \sum_{i=1}^3 \frac{|U_i(t)|}{K_i}.$$

Оптимальное управление \bar{U}_{opt} должно обеспечивать максимум функции H с учетом имеющихся ограничений на управление, т.е. определяться из условия $\bar{U}_{opt} \rightarrow \max_{\bar{u} \in \Omega_u} H$. В результате находим следующую структуру оптимальной программы управления угловым разворотом [4]:

$$U_{i,opt}(t) = \begin{cases} U_{i,max} \cdot \text{sign } \psi_i(t), & \text{при } \Delta_i(t) > 0; \\ 0, & \text{при } \Delta_i(t) < 0, \end{cases}$$

где $\Delta_i(t)$ – функция переключения, $i = x, y, z$, $\Delta_i(t) = |\psi_i(t)| - \frac{1}{K_i}$.

Проведенный выше анализ показывает, что оптимальное управление включает участки углового движения с *максимальным* расходом рабочего тела и участки свободного движения. Угловые развороты КР совершаются в диапазоне $\pm \pi$. В этом диапазоне имеется два активных участка – начальный и конечный, между которыми объект совершает свободное угловое движение.

Таким образом, для расчета энергетически оптимальной программы управления угловым разворотом необходимо определить моменты времени включения и выключения соответствующих двигателей ориентации на начальном и конечном участках углового разворота при совместном управлении по всем трем каналам исходя из обеспечения требуемых краевых условий разворота как по вектору кинематических параметров, так и по вектору угловой скорости КР. В этом случае число параметров управления равно числу граничных условий. Поэтому программа управления является структурно определенной и, следовательно, ее расчет сводится к итерационному решению соответствующей двухточечной краевой задачи только для системы нелинейных кинематических и динамических дифференциальных уравнений углового движения без использования сопряженных уравнений принципа максимума. В связи с этим был разработан алгоритм расчета терминальной программы управления угловым разворотом КР с конечной тягой. При этом решается соответствующая краевая задача,

которая состоит в нахождении вектора параметров управления \bar{U} путем решения соответствующего краевого уравнения $\bar{S}(\bar{u}) = 0$. Краевое уравнение задано неявно по терминальным условиям управления на процедурах интегрирования системы дифференциальных уравнений углового движения КР. Для решения рассматриваемых краевых задач могут быть использованы известные итерационные численные методы, такие как метод Ньютона [2], его модификации, градиентные методы и др. Однако их применение сопряжено с выполнением трудоемких вычислений, связанных с необходимостью расчета соответствующих матриц частных производных от вектора конечного фазового состояния $\bar{q}[T, \bar{U}, \bar{q}_0]$ по вектору параметров управления на каждой итерации. Определение таких матриц обычно производится методом конечных разностей, что вызывает необходимость многократного численного интегрирования системы кинематических и динамических дифференциальных уравнений управляемого углового движения.

Для обеспечения оперативности расчетов при разработке алгоритма был использован метод приближенного корректирующего оператора (ПКО) [3]. Вычислительная схема метода имеет вид

$$\bar{u}_{k+1} = M \left[\sum_{i=1}^k \bar{S}(\bar{u}_i) \right], \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

где $M(\bullet)$ – приближенный корректирующий оператор, выражающий алгоритм приближенного решения задачи управления;

$\bar{S}(\bar{u}_k)$ – промах в k -й итерации.

Достоинство данного метода заключается в его вычислительной экономичности, поскольку для уточнения вектора управления на каждой итерации дифференциальные уравнения управляемого движения КР необходимо интегрировать один раз. Чтобы реализовать данный метод, необходимо сформировать *приближенный корректирующий оператор* $M(\bullet)$. В работе в качестве такого оператора предложен алгоритм расчета *импульсной* программы управления угловым разворотом *динамически симметричного* КР. Задача алгоритма расчета импульсной программы управления угловым разворотом заключается в определении начального $\Delta \bar{\omega}_0$ и конечного $\Delta \bar{\omega}_T$ импульсов угловой скорости, обеспечивающих перевод КР из начального углового положения $(\bar{p}_0, \bar{\omega}_0)$ в конечное положение $(\bar{p}_T, \bar{\omega}_T)$ за заданное время T . Соответствующее уравнение углового движения в параметрах Родрига – Гамильтона имеет вид

$$\dot{\bar{p}} = \bar{f}_p(\bar{p}, \bar{\omega}), \quad \dot{\bar{\omega}} = 0.$$

Алгоритм расчета импульсной программы управления угловым разворотом динамически симметричного КР предусматривает следующее:

1. Для симметричного КР, имеющего одинаковые главные моменты инерции по всем связанным осям, угловой разворот производится с постоянной угловой скоростью. В этом случае кинематические уравнения в параметрах Родрига – Гамильтона имеют следующее аналитическое решение [5]:

$$\begin{bmatrix} p_0(t) \\ p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & q_3 & -q_2 \\ q_2 & q_3 & q_0 & q_1 \\ q_3 & q_2 & -q_1 & q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix},$$

где $q_0 = \cos(\omega t / 2)$;

$$q_1 = \frac{\omega_x}{\omega} \cdot \sin \frac{\omega t}{2};$$

$$q_2 = \frac{\omega_y}{\omega} \cdot \sin \frac{\omega t}{2};$$

$$q_3 = \frac{\omega_z}{\omega} \cdot \sin \frac{\omega t}{2}.$$

2. По заданным значениям параметров Родрига – Гамильтона $\bar{p}(t_0) = \bar{p}_0$ и $\bar{p}(T) = \bar{p}_T$ определяется вектор начальной угловой скорости на переходной траектории $\bar{\omega}_\Pi$ путем решения нелинейного векторного уравнения:

$$\bar{a}_T = \bar{a}_0 \cos \frac{\omega_0 T}{2} + C \bar{\omega}_\Pi \frac{\sin \frac{\omega_0 T}{2}}{\omega_0}$$

где $\bar{a}_0 = \begin{pmatrix} p_1(t_0) \\ p_2(t_0) \\ p_3(t_0) \end{pmatrix},$

$$\bar{a}_T = \begin{pmatrix} p_1(T) \\ p_2(T) \\ p_3(T) \end{pmatrix},$$

$$C(t_0) = \begin{pmatrix} p_0 & -p_3 & p_2 \\ p_3 & p_0 & -p_1 \\ -p_2 & p_1 & p_0 \end{pmatrix},$$

\bar{a} – векторная часть кватерниона \bar{p} ;

ω_Π – модуль вектора $\bar{\omega}_\Pi$.

В результате получим выражение

$$\bar{\omega}_\Pi = C^{-1}(t_0) \frac{(\bar{a}_T - \bar{a}(t_0) \cos \frac{\omega_0 T}{2}) \omega_0}{\sin \frac{\omega_0 T}{2}}.$$

3. Для окончательного решения задачи необходимо определить модуль начальной угловой скорости ω_0 . С использованием положений теории конечных поворотов твердого тела было получено следующее расчетное соотношение:

$$\omega_0 = \frac{2}{T} \arccos(\bar{p}_0 \cdot \bar{p}_T).$$

4. По известному $\bar{\omega}_\Pi$ вычисляются начальные и конечные импульсы скорости:

$$\Delta \bar{\omega}_0 = \bar{\omega}_\Pi - \bar{\omega}_0, \quad \Delta \bar{\omega}_T = \bar{\omega}_T - \bar{\omega}_\Pi.$$

При решении задачи расчета программы управления угловым разворотом *динамически несимметричного* КР с *конечной тягой* был использован метод ПКО. В качестве ПКО принят выше рассмотренный алгоритм расчета импульсной программы управления угловым разворотом динамически симметричного КР, дополненный формулами определения моментов времени включения и выключения двигателей ориентации на начальном и конечном участках углового разворота при совместном управлении по всем трем каналам. Такая задача состоит в определении соответствующих параметров – продолжительности работы двигателей ориентации τ_{ij} по каждому каналу на 1-м ($\tau_{1x}, \tau_{1y}, \tau_{1z}$) и 2-м ($\tau_{2x}, \tau_{2y}, \tau_{2z}$) активных участках углового разворота, определяющие моменты их включения и выключения, а также знаки

управляющих моментов по каждому каналу ориентации. В состав исходных данных кроме данных, указанных выше в задаче импульсного управления, входят также тяговые и моментные характеристики УРД. Уравнения углового движения:

$$\dot{\bar{p}} = \bar{f}_p(\bar{p}, \bar{\omega}), \quad \dot{\bar{\omega}} = \bar{f}_\omega(\bar{I}, \bar{\omega}) + \bar{U}(t).$$

Общая вычислительная схема расчета программы управления угловым разворотом динамически несимметричного КР с конечной тягой методом ПКО следующая:

1. Выполняется расчет импульсной программы управления угловым разворотом динамически симметричного КР по приведенному выше алгоритму ПКО.

2. Определяется продолжительность работы двигателей ориентации τ_{ij} :

$$\tau_{ix} = \Delta\omega_{ix} \frac{I_x}{M_x}, \quad \tau_{iy} = \Delta\omega_{iy} \frac{I_y}{M_y}, \quad \tau_{iz} = \Delta\omega_{iz} \frac{I_z}{M_z}, \quad i = 1, 2, j = x, y, z.$$

Знаки управляющих моментов, создаваемых включением соответствующих двигателей ориентации, определяются знаками соответствующих импульсов угловой скорости $\Delta\omega_{ij}$.

3. Выполняется численное интегрирование кинематических (1) и динамических уравнений (2).

4. Определяется вектор фазового промаха, соответствующий первому приближению по конечным значениям параметров.

5. Определяется новая смещенная точка прицеливания и рассчитываются уточненные значения параметров программы управления по алгоритму метода ПКО.

6. Вычисления повторяются, пока не будет обеспечена требуемая точность расчетов.

В работе приведены результаты численного исследования алгоритма расчета программы управления угловым разворотом динамически несимметричного КР с конечной тягой. Исходные данные:

$$\bar{p}(t_0) = [0,9952; -0,0038; -0,0435; 0,0871], \quad \bar{p}(T) = [0,8517; 0,1445; 0,3100; 0,3971], \quad T = 20 \text{ с},$$

$$\bar{\omega}(t_0) = 0 \text{ град/с}, \quad \bar{\omega}(T) = 0 \text{ град/с}, \quad I_x = 185 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad I_y = 132 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad I_z = 252 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$M_{xy} = 2,3 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad M_{yy} = 4,08 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad M_{zy} = 4,66 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В табл. 1 приведены расчетные данные, иллюстрирующие сходимость алгоритма определения программы управления по параметрам Родрига – Гамильтона. Эти данные получены также путем интегрирования соответствующих систем дифференциальных уравнений углового движения методом Рунге – Кутты 4-го порядка.

Таблица 1

Сходимость алгоритма управления

Номер итерации	$p_0(T)$	$p_1(T)$	$p_2(T)$	$p_3(T)$
1	0,8696	0,0616	0,2974	0,3894
2	0,8805	0,1173	0,2910	0,3553
3	0,8280	0,1406	0,3354	0,4267
4	0,8441	0,1593	0,3166	0,4024
5	0,8506	0,1491	0,3091	0,3984
6	0,8517	0,1445	0,3100	0,3971

На рис. 1 показаны программы изменения параметров Родрига – Гамильтона, на рис. 2 – программы изменения составляющих угловой скорости.

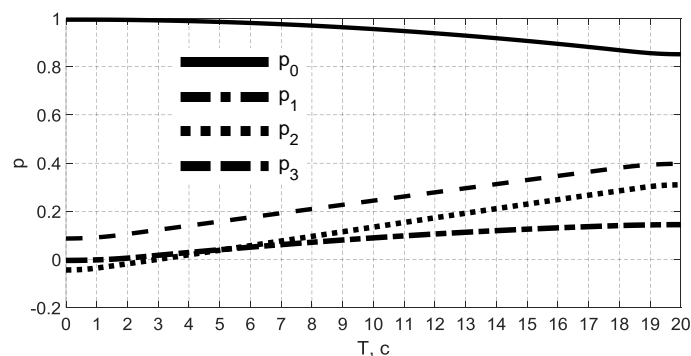


Рис. 1. Траектория изменения параметров $p_{0,1,2,3}(t)$

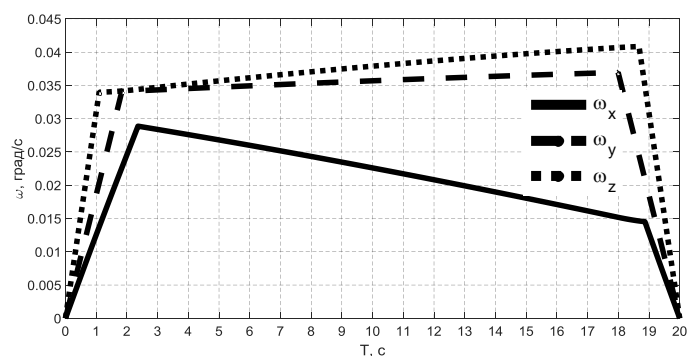


Рис. 2. Динамика угловой скорости $\omega_i(t)$

Приведенные на рисунках данные свидетельствуют о достаточной точности вычислительного процесса. Расчеты проводились с точностью ~ 0.05 град по угловым параметрам и ~ 0.01 град/с по вектору угловой скорости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При расчете программы управления угловым разворотом с конечной тягой динамически несимметричного КР вычислительный процесс практически сходится за 6 итераций. На каждой итерации полная система кинематических и динамических уравнений управляемого углового движения интегрируется один раз, так что общее число интегрирований уравнений движения не превышает 6 раз. Это обстоятельство обеспечивает высокую оперативность расчета программы управления на БЦВМ. По сравнению с применением метода Ньютона обеспечивается значительное повышение оперативности расчетов, так как в методе ПКО не требуется проводить дополнительных интегрирований уравнений углового движения для вычисления соответствующих матриц частных производных.

В целом разработанный алгоритм пространственного углового разворота позволяет реализовать перспективный принцип управления по свободным траекториям углового движения при минимальных затратах рабочего тела УРД, так как отсутствуют дополнительные ограничения на траекторию углового разворота, управление осуществляется одновременно по всем трем каналам и предусмотрен участок пассивного углового движения с выключенными УРД.

Список используемых источников

1. Голубев Ю.Ф. Алгебра кватернионов в кинематике твердого тела // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2013. – № 39. – 23 с.

2. *Калиткин Н.Н., Альшина Е.А.* Численные методы. – М.: Академия, 2013. – 304 с.
3. *Миронов В.И., Миронов Ю.В., Юсупов Р.М.* Синтез итерационных алгоритмов решения краевых задач и нелинейных уравнений // Известия вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53, № 1. – С. 9–15.
4. *Понтрягин Л.С.* Принцип максимума в оптимальном управлении. – М.: Удиторнал УРСС, 2004. – 64 с.
5. *Смирнов В.В.* Системы навигации и ориентации космических аппаратов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 155 с.

М.В. Ведерников,
кандидат техн. наук;
А.В. Казимиров,
кандидат техн. наук;
А.В. Ляшевский,
кандидат техн. наук

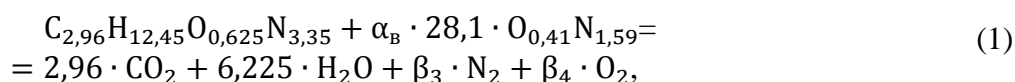
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТРЕХЗОННОГО ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА

Для улучшения экологических характеристик РКК целесообразно применение трехзонных термохимических нейтрализаторов. Для проведения проекторочных расчетов камеры такого устройства необходимо знать температуру продуктов нейтрализации в ней. Эта температура будет зависеть от ряда параметров: состава нейтрализуемых веществ, вида применяемого топлива и т.д. В настоящей статье представлена методика расчета температуры в камере трехзонного термохимического нейтрализатора и коэффициента избытка воздуха.

Ключевые слова: компоненты ракетного топлива, несимметричный диметилгидразин, керосин, коэффициент избытка окислителя, нейтрализация, продукты сгорания.

Ранее в статье [1] был описан принцип работы системы нейтрализации компонентов ракетных топлив (КРТ), а также приведен расчет состава продуктов нейтрализации. Но для того, чтобы стало возможно рассчитать геометрические характеристики (то есть произвести проекторочный расчет) самой камеры нейтрализатора и разработать систему ее охлаждения, необходимо произвести ее термодинамический расчет. Одним из исходных данных для термодинамического расчета камеры трехзонного нейтрализатора как раз и является температура продуктов нейтрализации T_k , образующихся в ней.

В статье [1] было определено, что в термохимическом нейтрализаторе реализуется следующая химическая реакция:



где $C_{2,96}H_{12,45}O_{0,625}N_{3,35}$ – условная химическая формула смеси восстановительного газа и паров КРТ;

$O_{0,41}N_{1,59}$ – условная химическая формула воздуха;

α_B – коэффициент избытка воздуха;

β_3, β_4 – стехиометрические коэффициенты.

Стехиометрические коэффициенты β_3 и β_4 зависят от α_B и их можно рассчитать по формулам:

$$\beta_3 = \alpha_B \cdot 22,34 + 1,675; \quad (2)$$

$$\beta_4 = 5,76(\alpha_B - 1). \quad (3)$$

Состав продуктов нейтрализации, образующихся на выходе из камеры в результате протекания химической реакции (1), выраженный молярными долями, рассчитывается следующим образом:

$$r_{CO_2} = \frac{2,96}{5,1 + \alpha_B \cdot 28,1}; \quad (4)$$

$$r_{H_2O} = \frac{6,225}{5,1 + \alpha_B \cdot 28,1}; \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{\alpha_B \cdot 22,34 + 1,675}{5,1 + \alpha_B \cdot 28,1}; \quad (6)$$

$$O_2 = \frac{5,76(\alpha_B - 1)}{5,1 + \alpha_B \cdot 28,1}. \quad (7)$$

Температура, достигаемая в камере нейтрализатора, является температурой, при которой энтальпия продуктов нейтрализации $I_{\text{пн}}$, образовавшихся в третьей зоне камеры, будет равна общей энтальпии исходных веществ $I_{\text{исх}}$, поступающих на нейтрализацию в камеру [2,3]:

$$I_{\text{пн}} = I_{\text{исх}} \quad (8)$$

Энтальпию исходных веществ $I_{\text{исх}}$ можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{исх}} = \frac{I_{\text{свг}} + \alpha_B \cdot \chi_0^B \cdot I_B}{1 + \alpha_B \cdot \chi_0^B} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], \quad (9)$$

где $I_{\text{свг}}$ – энтальпия смеси восстановительного газа и паров нейтразуемых КРТ;
 I_B – энтальпия воздуха;
 χ_0^B – массовое соотношение воздуха и смеси восстановительного газа с парами КРТ, при котором образуются продукты полной нейтрализации, указанные в уравнении (1), $\chi_0^B = 8,104$.

Энтальпия $I_{\text{свг}}$ будет равна сумме энтальпий восстановительного газа $I_{\text{вг}}$ и паров КРТ, поступивших на нейтрализацию (нейтразуемого продукта) $I_{\text{нп}}$ [2, 3]:

$$I_{\text{свг}} = 0,5 \cdot I_{\text{вг}} + 0,5 \cdot I_{\text{нп}} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]. \quad (10)$$

Будем считать, что нейтразуемые КРТ поступают в камеру при температуре окружающей среды $T = 293,15$ К. Тогда их полные энтальпии будут равны сумме стандартных энтальпий образования веществ, их составляющих, с учетом их массовых долей в смеси.

Для примера рассмотрим случай, когда в состав нейтразуемого продукта входит 50% по массе несимметричного диметилгидразина (НДМГ) и 50% керосина. Тогда полную энтальпию нейтразуемого продукта при $T = 293,15$ К можно рассчитать следующим образом:

$$I_{\text{нп}} = 0,5 \cdot I_{\text{НДМГ}} + 0,5 \cdot I_K \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], \quad (11)$$

где $I_{\text{НДМГ}}$ – стандартная энтальпия образования НДМГ;
 I_K – стандартная энтальпия образования керосина.

Стандартная энтальпия образования НДМГ равна $I_{\text{НДМГ}} = 780 \text{ кДж/кг}$, а керосина – $I_K = -1800 \text{ кДж/кг}$ [3]. Получаем, что $I_{\text{нп}} = -510 \text{ кДж/кг}$.

Энтальпия восстановительного газа, образующегося в первой зоне камеры при сгорании керосина в воздухе, определяется следующим образом:

$$I_{\text{вг}} = \frac{I_K + \chi_{\text{вг}}^B \cdot I_B}{1 + \chi_{\text{вг}}^B} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], \quad (12)$$

где $\chi_{\text{вг}}^B$ – массовое соотношение воздуха к керосину.

В статье [1] было определено, что $\chi_{\text{вг}}^{\text{гг}} = 9,85$.

Так как стандартные энтальпии простых веществ равны нулю, можно принять энтальпию воздуха $I_{\text{в}} = 0$. Следовательно, $I_{\text{вг}} = -166 \text{ кДж/кг}$. Тогда энтальпия смеси восстановительного газа и паров КРТ по формуле (10) будет равна $I_{\text{свг}} = -338 \text{ кДж/кг}$.

Таким образом, имеются все необходимые данные для расчета полной энтальпии исходных веществ по формуле (9) для разных значений коэффициентов избытка воздуха $\alpha_{\text{в}}$. Это необходимо для выбора оптимальной температуры в камере с целью минимизации процессов диссоциации-рекомбинации продуктов нейтрализации.

Результаты расчетов энтальпии по формулам (4)–(7), (9) и состав продуктов сгорания, выраженный молярными долями, для разных значений $\alpha_{\text{в}}$, образующихся в камере нейтрализатора, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Энтальпия и состав продуктов сгорания, образующихся
в камере нейтрализатора для разных значений $\alpha_{\text{в}}$**

Параметр	$\alpha_{\text{в}}$				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3
$I_{\text{исх}}, \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right]$	-37,13	-25,7	-19,64	-15,9	-13,35
r_{CO_2}	0,09	0,063	0,048	0,039	0,033
$r_{\text{H}_2\text{O}}$	0,187	0,132	0,102	0,083	0,07
r_{N_2}	0,723	0,745	0,756	0,763	0,768
r_{O_2}	0	0,06	0,094	0,115	0,129
$\mu_{\text{см}} = \sum \mu_i \cdot r_i$	27,57	27,93	28,12	28,25	28,34

Далее появляется возможность для определения температуры продуктов нейтрализации в камере $T_{\text{к}}$.

Энтальпию продуктов нейтрализации $I_{\text{пн}}$ можно определить по формуле

$$I_{\text{пн}} = \frac{\sum r_i \cdot \bar{I}_i}{\mu_{\text{см}}} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right], \quad (13)$$

где r_i — молярная доля i -го газа в составе продуктов нейтрализации;
 \bar{I}_i — молярная энтальпия i -го газа в составе продуктов нейтрализации;
 $\mu_{\text{см}}$ — относительная молярная масса продуктов нейтрализации, кг/кмоль .

Необходимые для расчетов данные по молярным энтальпиям \bar{I}_i при разных температурах берутся из литературы [4]. Принимая предположительно, что рабочая температура в камере нейтрализатора должна находиться в диапазоне 1600–1900 К, данные по молярным энтальпиям при этих температурах выписаны из источника [4] и сведены в табл. 2.

Таблица 2

Молярные энтальпии продуктов горения при различных температурах

$T, \text{ К}$	$\bar{I}_i \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кмоль}$			
	CO_2	H_2O	N_2	O_2
1600	-326,0	-188,9	42,10	44,46
1700	-320,0	-184,2	45,63	48,16
1800	-314,1	-179,3	49,18	51,88
1900	-308,06	-174,4	52,75	55,63

Далее производятся расчеты $I_{\text{пн}}$ по формуле (13) для разных температур и коэффициентов избытка воздуха $\alpha_{\text{в}}$. Допуская, что в диапазоне температур от 1600 до 1900 К зависимость $I_{\text{пн}} = f(T)$ будет иметь линейный характер, составляется аппроксимационный полином следующего вида:

$$I_{\text{пн}} = k \cdot T + b, \quad (14)$$

$$k = \frac{I_{\text{пн}}(1900) - I_{\text{пн}}(1600)}{300}, \quad (15)$$

$$b = k \cdot (-1600) + I_{\text{пн}}(1600). \quad (16)$$

Подставляя в формулу (14) $I_{\text{исх}}$ вместо $I_{\text{пн}}$ из табл. 1, получаем температуру в камере нейтрализатора $T_{\text{к}}$, достигаемую при данном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_{\text{в}}$.

Результаты расчетов энтальпий продуктов нейтрализации в заданном диапазоне температур и температуры в камере приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты расчета энтальпий продуктов нейтрализации
и температур в камере термохимического нейтрализатора**

Параметр	$\alpha_{\text{в}}$			
	1	1,5	2	2,5
$I_{\text{пн}}(1600)$ кДж/кг	-1241,42	-409,62	38,8	313
$I_{\text{пн}}(1700)$ кДж/кг	-1097,4	-212,41	173,36	445,5
$I_{\text{пн}}(1800)$ кДж/кг	-951,8	-132,62	309,08	579,07
$I_{\text{пн}}(1900)$ кДж/кг	-805,2	7,446	445,68	713,49
$I_{\text{пг}} = f(T)$	$I_{\text{пн}} = 1,454 \cdot T - 3567,82$	$I_{\text{пн}} = 1,39 \cdot T - 2633,62$	$I_{\text{пн}} = 1,356 \cdot T - 2130,8$	$I_{\text{пн}} = 1,335 \cdot T - 1823$
$T_{\text{к}}, \text{ К}$	2428,26	1876,2	1557	1355,5

Из результатов расчетов по формулам (14)–(15), представленным в табл. 3, можно сделать вывод, что с увеличением коэффициента избытка окислителя (воздуха) $\alpha_{\text{в}}$ температура в камере дожигателя $T_{\text{к}}$ уменьшается. Следовательно, для выбора подходящего $\alpha_{\text{в}}$ необходимо руководствоваться соображениями о недопущении протекания процессов диссоциации-рекомбинации продуктов сгорания в камере дожигателя. Стоит заметить, что при температурах $T_{\text{к}} \cong 2000$ К начинает проявляться процесс диссоциации CO_2 , на который будет затрачиваться часть внутренней энергии газов. Кроме того, при таких температурах начинается заметное окисление азота. Это приведет к увеличению числа молей газов в их смеси, расширению газов в сообщенной с атмосферой камере дожигателя и снижению в продуктах сгорания доли таких низкоэнтальпийных газов, как H_2O и CO_2 . Для случая нейтрализации это нежелательно, так как необходимо получать экологически чистые продукты сгорания или такие продукты, которые просто доокислялись бы на катализаторе. Поэтому, выбирая коэффициент избытка окислителя $\alpha_{\text{в}}$ для реализации уравнения химической реакции горения в камере дожигателя (1), нужно руководствоваться значением $T_{\text{к}}$, которое должно быть менее 2000 К. Следовательно, коэффициент избытка окислителя (воздуха) должен иметь значение $\alpha_{\text{в}} \geq 1,5$.

Следующим шагом при проектировании камеры дожигателя является определение ее геометрических размеров. После этого появится возможность рассчитать тепловой режим работы системы нейтрализации и рассчитать систему охлаждения.

Список используемых источников

1. Ведерников М.В., Казимиров А.В., Ляшевский А.В. Применение трехзонного термохимического нейтрализатора компонентов ракетного топлива как способ улучшения экологических характеристики ракетно-космических комплексов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2018. – Вып. 665. – С. 194–203.
2. Основы проектирования установок для термического обезвреживания паров и промстоков НДМГ: метод. пособие / М.В. Ведерников, А.Б. Герасимов, А.П. Софьин и др. – СПб.: Теза, 2003. – 122 с.
3. Пономаренко В.К. Ракетные топлива: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 428 с.
4. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: справочник в 5 томах / под ред. В.П. Глушко. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1974.

В.Л. Гузенко,
кандидат техн. наук, профессор;
А.А. Ковальский,
кандидат техн. наук;
В.Ю. Пальгунов

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО ПРОДЛЕНИЮ НАЗНАЧЕННОГО РЕСУРСА НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА

В публикации рассматриваются вопросы разработки обоснования объемов работ по продлению назначенного ресурса наземных станций измерительного комплекса космодрома (НС ИКК).

Целью разработки данной методики является создание научно-методического аппарата для оценивания остаточного ресурса оборудования НС ИКК и определения рационального по затратам объема работ (ремонтов и поставок ЗИП), обеспечивающего функционирование оборудования НС ИКК на интервале продления с требуемыми показателями качества целевого применения.

Применение предложенного в статье научно-методического аппарата позволит повысить обоснованность решений по управлению эксплуатацией АС НС ИКК, обеспечить их надежное и безопасное функционирование при экономии материальных и финансовых средств.

Ключевые слова: оценка технического состояния, прогнозирование остаточного ресурса, продление назначенных показателей срока службы, антенная система, измерительный комплекс космодрома.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач контроля всех этапов подготовки пуска, пуска ракетно-космических носителей (РКН), выведения полезной нагрузки на заданную орбиту и последующего управления запуском космических аппаратов (КА) в орбитальном полете на космодромах Российской Федерации применяются многофункциональные комплексы специальных средств, называемые измерительными комплексами космодрома (ИКК). Измерительный комплекс космодрома предназначен для организации приема, регистрации, сбора, обработки и выдачи потребителям измерительной информации при подготовке к пускам, пусках и полете ракетно-космических, ракетных носителей (РН), запусках КА и разгонных блоков (РБ), а также проведении сеансов управления КА в орбитальном полете.

В ходе решения задач обеспечения потребителей измерениями на участке выведения на орбиту космической головной части (КГЧ), при орбитальном полете КА, а также для управления ими на всех этапах полета ИКК выполняет функции наземного комплекса управления (НКУ).

Различают функциональные и целевые задачи ИКК. К функциональным задачам ИКК относятся:

- применение космических сил и средств по назначению;
- проведение опытно-испытательных работ;
- выполнение научно-исследовательских работ.

Задачами применения ИКК являются:

- обеспечение измерениями и математической обработкой штатной эксплуатации РКН и КА;
- штатная эксплуатация объектов ИКК и средств программно-математического обеспечения (ПМО).

При проведении опытно-испытательных работ ИКК выполняет следующие задачи:

- обеспечивает измерениями и математической обработкой испытаний РКН;

- обеспечивает измерениями и математической обработкой испытаний межконтинентальные баллистические ракеты (МБР);
 - обеспечивает испытания ракетно-космических и ракетных радиолиний;
 - обеспечивает испытания космических средств (КСр) ИКК, комплексные испытания ИКК;
 - выполняет разработку, испытания и внедрение ПМО средств ИКК;
 - проводит опытную эксплуатацию КСр, ПМО и объектов ИКК.
- При выполнении научно-исследовательских работ ИКК обеспечивает:
- научное сопровождение испытаний и штатной эксплуатации РКН и МБР;
 - научное сопровождение испытаний ракетно-космических и ракетных радиолиний; научное сопровождение разработки, испытаний, внедрения и эксплуатации ПМО средств ИКК;
 - разработку научно-технических предложений по совершенствованию организационно-штатной структуры ИКК; подготовку специалистов (инженеров-испытателей) ИКК высшей квалификации.

К целевым задачам ИКК относятся:

- формирование и выдача потребителям сигналов службы единого времени; фиксация точного времени старта и формирование сигнала «Контакт подъема»;
- проведение траекторных измерений, сбор, обработка и представление траекторной информации, получение и выдача прогноза параметров орбиты КГЧ и КА;
- проведение телеметрических измерений, сбор, обработка и представление телеметрической информации;
- проведение экспресс-анализа, оперативной и полной обработки телеметрической информации, подготовка и рассылка отчетов;
- выдача команд управления на борт КГЧ, КА и прием сигналов через обратный информационный канал;
- выдача команды «Спасения» на борт пилотируемого КА; осуществление радиосвязи с экипажем КА;
- осуществление наземного телевизионного наблюдения, передача телевизионной информации по каналам связи;
- осуществление кинофотосъемок, обработка кинофотоматериалов, изготовление кинофильмов и фотографий;
- сенситометрические испытания кинофотоматериалов.

Широкий спектр перечисленных задач свидетельствует о многофункциональности ИКК и его составных частей, важности и ответственности выполняемых функций и о разнообразии привлекаемых технических средств. Специфика целевых задач, возложенных на ИКК, и технология их выполнения определяют структуру и дислокацию основных элементов ИКК.

Наиболее распространенным средством ИКК являются наземные станции. Любая наземная станция в общем случае состоит из двух основных компонентов: антенной системы (АС), основную долю оборудования которой составляют механические и электромеханические элементы опорно-поворотного устройства, и радиоэлектронного оборудования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА КАК ОБЪЕКТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Факторы окружающей среды по-разному воздействуют на различные группы оборудования НС ИКК. Если составные части РЭО эксплуатируются в закрытых отапливаемых помещениях, то узлы и механизмы опорно-поворотных устройств антенн, силовые элементы металлоконструкций наземных станций ИКК эксплуатируются на открытом воздухе в условиях резко-

континентального климата при годовой разности температур 70–80° С, и суточной – до 20° С.

Совокупность факторов воздействия окружающей среды можно разбить на следующие группы: ветровое, эрозионное, пылевое, лучистое (солнечный свет), тепловое, химическое (коррозионное).

Кроме факторов окружающей среды на ресурс оборудования оказывают влияние факторы механических нагрузок, возникающих при целевом применении антенных систем. Режимы функционирования включают динамику слежения (страгивание с места, набор угла по высоте и торможение), вибродинамику работы приводов опорно-поворотного устройства и др.

Совокупность взаимосвязанных факторов внешних воздействий и режимов функционирования определяют уровень нагружения узлов и агрегатов, силовых конструкций механического оборудования НС ИКК. Характер и уровень нагрузок на элементы механического оборудования определяет степень расходования ресурса, которая должна оцениваться с использованием физических закономерностей процессов усталостного повреждения, изнашивания, старения, эрозии, коррозии и др.

Из анализа данных о средствах, входящих в состав измерительного комплекса космодрома Плесецк вытекает следующее. Большинство НС ИКК изготовлены в 70-х – 80-х годах и введены в эксплуатацию в период с 1970 по 1985 год. Средний срок эксплуатации НС ИКК составляет более 40 лет, при гарантийном или назначенном сроке службы 10 лет. Значительная часть парка космических средств (55 %) выработала назначенный ресурс эксплуатации, а практически все средства (95 %) – гарантийный ресурс. Надежность механического и радиоэлектронного оборудования наземных станций снижается из-за ухудшения параметров технического состояния в процессе длительной эксплуатации, вследствие чего доля времени простоя средств ИКК из-за отказов оборудования составляет 75 %.

В то же время практика эксплуатации показывает, что технический ресурс составных частей опорно-поворотных устройств расходуется неравномерно. Возможности восстановления работоспособного состояния радиоэлектронной аппаратуры ограничиваются из-за истощения ЗИП и снятия с производства отдельных комплектующих.

Принимая во внимание недостаточные финансовые возможности для обновления и модернизации парка средств ИКК, можно сделать вывод о том, что требование обеспечения выполнения комплекса целевых задач ИКК в сложившихся условиях обуславливает необходимость регулярного продления эксплуатации средств с истекшими гарантийными и назначенными сроками службы при наличии к тому достаточных оснований. При этом должны быть выполнены предъявляемые требования к качеству функционирования средств ИКК.

При оценивании возможностей продления назначенного ресурса средств ИКК необходимо учитывать, что оборудование наземных станций ИКК состоит из разнородных по физическим принципам расходования ресурса элементов: механических и радиоэлектронных.

Элементы оборудования неравнозначны по степени влияния на надежность, безопасность и стоимость эксплуатации, что требует дифференцированного использования нескольких типов критериев предельного состояния для различных групп элементов оборудования при моделировании процесса достижения предельного состояния НС ИКК.

При оценивании остаточного ресурса элементов механического оборудования необходимым условием является учет предыстории воздействия на оборудование факторов окружающей среды, нагрузок, действующих в процессе выполнения целевых задач, и результатов эксплуатации и мониторинга технического состояния элементов оборудования в процессе эксплуатации.

Оценивание остаточного ресурса элементов РЭО и механических агрегатов и систем необходимо проводить с учетом фактических ограничений на возможности восстановления ресурса в условиях войсковой части, обуславливаемые ограниченными поставками ЗИП и

отсутствием полного комплекса условий на проведение ремонтно-восстановительных работ для всего спектра оборудования НС ИКК.

Фактическая неравнопрочность элементов оборудования НС ИКК по остаточному ресурсу создает объективные предпосылки для применения принципа выборочного восстановления технического ресурса по наиболее «слабым» в смысле долговечности составным частям оборудования НС ИКК.

Так как для большинства элементов оборудования НС ИКК и для НС ИКК в целом отсутствуют установленные в конструкторской документации признаки и критерии предельного состояния, данная задача является чрезвычайно актуальной для практического внедрения ресурсосберегающей стратегии продления эксплуатации наземных станций ИКК. Внедрение ресурсосберегающих технологий эксплуатации средств ИКК требует соответствующего научно-методического обеспечения, учитывающего приведенные особенности расходования ресурса оборудования наземных станций.

АНАЛИЗ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБОСНОВАНИЯ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО ПРОДЛЕНИЮ НАЗНАЧЕННОГО РЕСУРСА НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА

Проведенный анализ существующего научно-методического обеспечения показал, что в настоящее время заложены определенные научно-методические и организационные основы для перехода к ресурсосберегающим стратегиям эксплуатации средств ИКК. Прежде всего необходимо отметить ряд результатов, полученных в области теоретического обоснования возможности оценивания показателей долговечности сложных систем, разработки гибких стратегий управления техническим состоянием сложных и сопровождения эксплуатации стартовых комплексов космического назначения на этапе продления ресурса.

Однако в целом вопросы обоснования объемов работ по продлению назначенных показателей ресурса радиотехнических средств, состоящих из разнотипных элементов, функционирующих в конкретных, достаточно жестких условиях эксплуатации, исследованы недостаточно.

В частности, слабо развиты подходы к формированию комплексных критериев предельного состояния сложных технических систем, содержащих взаимодействующие механические и радиоэлектронные компоненты оборудования. Не в полной мере учитывается имеющаяся на практике неравнопрочность механического и радиоэлектронного оборудования, не всегда при прогнозировании остаточного ресурса РЭО принимаются во внимание ограничения, связанные с возможностью поставок ЗИП по конкретным типовым элементам замены (ТЭЗ).

В ряде известных работ по оцениванию показателей долговечности механических систем подробно исследованы статистические аспекты оценивания остаточного ресурса по выборкам наработок элементов до предельного состояния, в то время как индивидуальные оценки показателей долговечности должны основываться на физико-статистических закономерностях расходования ресурса. Причем особенный интерес представляет учет конкретной предыстории воздействия факторов окружающей среды и режимов функционирования на параметры физических моделей расходования ресурса конкретно взятого объекта. Обоснование объемов работ по продлению ресурса должно учитывать наряду с теоретическими оценками остаточного ресурса также результаты эксплуатации в виде выборок из наработок до отказа (предельного состояния) и данные периодических обследований оборудования в ходе мониторинга технического состояния с помощью приборов неразрушающего контроля.

Существующие методы оценивания остаточного ресурса не в полной мере позволяют учесть все типы критериев предельного состояния элементов оборудования средств ИКК, в

частности, слабо развито научно-методическое обеспечение прогнозирования остаточного ресурса отдельных групп оборудования по критерию возрастания эксплуатационных затрат выше нормы.

На основании изложенного можно сделать вывод об актуальности решения научно-технической задачи разработки научно-методического обеспечения, позволяющего оценить показатели остаточного ресурса средств ИКК и обосновать рациональные объемы работ по продлению назначенных показателей ресурса.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБОСНОВАНИЯ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО ПРОДЛЕНИЮ НАЗНАЧЕННОГО РЕСУРСА НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА

Данная задача в развернутом виде вербально может быть сформулирована следующим образом. При заданных исходных данных:

- о составе и интенсивности воздействия факторов окружающей среды на НС ИКК в течение длительной эксплуатации в условиях космодрома Плесецк;
- предыстории воздействия нагрузок в процессе целевого применения НС ИКК;
- данных об отказах элементов оборудования НС ИКК;
- данных измерительного контроля параметров технического состояния НС ИКК в процессе мониторинга технического состояния;
- данных о наличии и возможностях восполнения ЗИП;
- данных о ремонтпригодности оборудования НС ИКК и возможностях проведения ремонта на месте эксплуатации.

Необходимо разработать научно-методическое обеспечение, позволяющее:

- оценить фактическое техническое состояние НС ИКК;
- оценить показатели остаточного ресурса НС ИКК;
- обосновать рациональные сроки и объемы работ по продлению назначенного ресурса.

В формализованном виде постановка задачи выглядит следующим образом.

Дано:

$$Str(MxO); Str(PЭO); U_{\{l\}}^{OKP.CP}; F_{\{m\}}^{ЦЕЛ.ПР.}; ИД_{Э}; ИД_{М}; ИД_{СЭ}; КПС; T_{пр},$$

- где
- $Str(MxO)$ – структура механического оборудования НС ИКК;
 - $Str(PЭO)$ – структура радиоэлектронного оборудования НС ИКК
 - $U_{\{l\}}^{OKP.CP}$ – предыстория воздействия факторов окружающей среды на механическое оборудование НС ИКК;
 - $F_{\{m\}}^{ЦЕЛ.ПР.}$ – предыстория воздействия нагрузок на механическое оборудование НС ИКК в процессе выполнения целевых задач;
 - $ИД_{Э}$ – исходные данные об отказах составных частей оборудования НС ИКК в процессе эксплуатации;
 - $ИД_{М}$ – исходные данные об изменении параметров технического состояния составных частей оборудования НС ИКК в процессе эксплуатации;
 - $ИД_{СЭ}$ – исходные данные об изменении возможностей системы эксплуатации по восстановлению работоспособного состояния составных частей оборудования НС ИКК в процессе эксплуатации;
 - $КПС$ – существующие виды критериев предельного состояния элементов оборудования сложных систем;
 - $T_{пр}$ – планируемый интервал продления назначенных показателей ресурса НС ИКК.

Найти: $V_{\text{НС}} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество работ (ремонт и поставки ЗИП), обеспечивающих возможность продления назначенных показателей ресурса НС ИКК на величину $T_{\text{пр}}$, таких, что:

$$V_{\text{НС}} = V_{\text{НС}}^* | V_{\text{НС}}^* = V_{\text{МхО}}^* \cup V_{\text{РЭО}}^*; (T_{\text{ор МхО}} \geq T_{\text{пр}}) \wedge (T_{\text{ор РЭО}} \geq T_{\text{пр}}) \wedge (C(V_{\text{НС}}) \leq C(V_{\text{НС}}^*) \forall V_{\text{НС}} \neq V_{\text{НС}}^*),$$

где $T_{\text{ор МхО}}$ – оценка остаточного ресурса механического оборудования НС ИКК,

$$T_{\text{ор МхО}} = \Phi'(Str(\text{МхО}); U_{\{l\}}^{\text{ОКР.СР}}; F_{\{m\}}^{\text{ЦЕЛ.ПР.}}; \text{ИД}_3; \text{ИД}_M; \text{ИД}_{\text{СЗ}}; \text{КПС});$$

$T_{\text{ор РЭО}}$ – оценка остаточного ресурса радиоэлектронного оборудования НС ИКК,

$$T_{\text{ор РЭО}} = \Phi''(Str(\text{РЭО}); \text{ИД}_3; \text{ИД}_M; \text{ИД}_{\text{СЗ}}; \text{КПС})$$

Ввиду сложности и многоаспектности сформулированной выше общей задачи проводимых исследований ее необходимо декомпозировать на ряд частных задач, последовательное решение которых позволит достичь поставленной цели работы – разработать научно-методическое обеспечение для обоснования объемов работ по продлению назначенного ресурса средств полигонного измерительного комплекса по фактическому состоянию с учетом предыстории воздействия факторов окружающей среды и режимов функционирования.

Перечень частных задач исследований выглядит следующим образом. Разработка научно-методического обеспечения обоснования объемов работ по продлению назначенного ресурса НС ИКК, включает:

- математические модели процессов расходования ресурса механического оборудования антенных систем НС ИКК с учетом предыстории воздействия факторов окружающей среды и режимов функционирования;
- способы уточнения математических моделей процессов расходования ресурса механического оборудования антенных систем НС ИКК с учетом дополнительной информации об отказах и результатах измерений определяющих параметров;
- математические модели и алгоритмы оценивания остаточного ресурса радиоэлектронного оборудования НС ИКК;
- методику обоснования объемов работ по продлению назначенного ресурса НС ИКК.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБОСНОВАНИЯ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО ПРОДЛЕНИЮ НАЗНАЧЕННОГО РЕСУРСА НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА

Целью разработки данной методики является создание научно-методического аппарата для оценивания остаточного ресурса оборудования НС ИКК и определения рационального по затратам объема работ (ремонтов и поставок ЗИП), обеспечивающего функционирование оборудования НС ИКК на интервале продления с требуемыми показателями качества целевого применения.

Определение рационального по затратам объема работ по продлению назначенного ресурса НС ИКК осуществляется в ходе выполнения ряда последовательных процедур.

На первом этапе производится разделение оборудования НС ИКК на группы по возможности восстановления ресурса в процессе эксплуатации

Проводится анализ фактической ремонтпригодности составных частей оборудования НС ИКК по следующей схеме. Обобщенное свойство «ремонтпригодность» делится на ряд частных свойств (факторов), в совокупности характеризующих возможность восстановления

ресурса составной части наземного оборудования. Таких частных свойств в данной методике выделено семь: «Блочность», «Доступность», «Легкосъемность», «Регулируемость», «Контролепригодность», «Взаимозаменяемость» и «Обеспеченность ремонта ЗИП и ТМС».

С учетом выделенных частных свойств обобщенный оценочный показатель ремонтпригодности составной части НС ИКК может быть представлен в виде линейной функции показателей отдельных частных свойств с учетом весового коэффициента важности каждого из них:

$$K_p = \sum_{i=1}^N \alpha_i K_i, \quad (1)$$

где α_i – весовой коэффициент;

K_i – коэффициент, характеризующий частный фактор ремонтпригодности;

K_1 – коэффициент блочности;

K_2 – коэффициент доступности и так далее в соответствии с порядком факторов, приведенных выше.

Для нахождения значений весовых коэффициентов α в общей формуле оценки показателя ремонтпригодности (1) проводится экспертная оценка значимости перечисленных выше факторов. В качестве экспертов привлекаются специалисты предприятия-разработчика оборудования НС ИКК и эксплуатирующих войсковых частей.

Экспертиза проводится путем заполнения экспертами таблиц парных сравнений, включающих семь факторов ремонтпригодности. Оценка производится методом парных сравнений, для чего каждый раз сравниваются между собой только два фактора, остальные факторы в этот момент во внимание не принимаются. Одному из сравниваемых факторов, который, по мнению экспертов, наиболее важен, присваивается цифра 1, а менее значимому – цифра из ряда от 0 до 1 в зависимости от значимости его по отношению к единице. Далее результаты попарного сравнения обрабатываются по алгоритму, приведенному в работе [6].

Анализ отдельных частных свойств, определяющих ремонтпригодность, показывает, что они могут быть расчленены на составляющие, оценка которых связана с определением веса каждого из них в выражении (1). Эта оценка также проводится с помощью экспертизы, в результате чего получается окончательное выражение для обобщенного оценочного показателя ремонтпригодности составной части НС ИКК:

$$K_p = \sum_{i=1}^N \alpha_i K_i = \sum_{i=1}^N \alpha_i \sum_{j=1}^{n_i} \beta_j K_{ij}. \quad (2)$$

Составная часть оборудования a_k включается в подмножество ремонтпригодных составных частей $W_{\text{РЕМ}}$, если значение обобщенного оценочного показателя ремонтпригодности превышает некоторый задаваемый экспертно пороговый уровень:

$$a_k \in W_{\text{РЕМ}} \mid K_p \geq K_p^* \quad (3)$$

Применяя правило (3) поочередно ко всем составным частям оборудования НС ИКК, можно сформировать несколько групп оборудования, различающихся возможностью восстановления ресурса в процессе эксплуатации (рис. 1).

На втором этапе производится формирование признаков предельного состояния механического и радиоэлектронного оборудования НС ИКК по критерию неустранимого отказа.

Принцип формирования признаков предельного состояния составных частей оборудования НС ИКК показан на рис. 2.

Как следует из данного рисунка, формирование признаков предельного состояния начинается с анализа структуры оборудования и построения его структурной схемы надежности. При этом детализация разбиения производится до уровня агрегатов (для механического оборудования) или блоков (для радиоэлектронного оборудования).

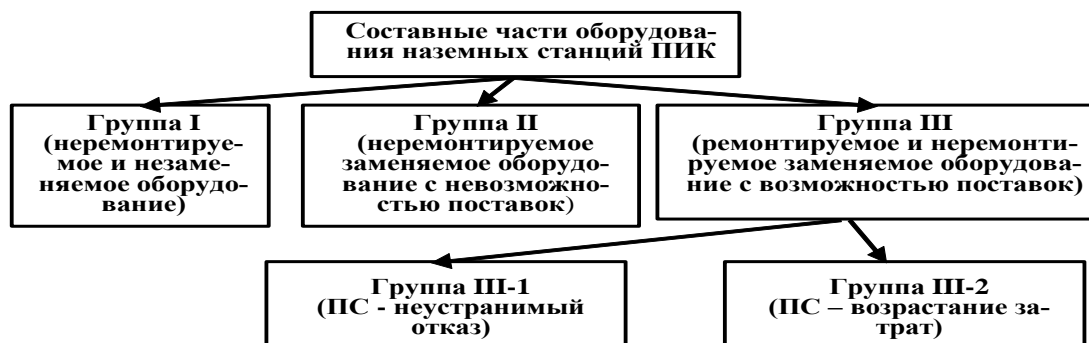


Рис. 1. Декомпозиция составных частей оборудования НС ИКК на группы по степени фактической ремонтпригодности в процессе эксплуатации

Далее все выделенные элементы ССН анализируются на предмет степени фактической ремонтпригодности и осуществляется анализ фактической возможности поставок агрегатов для замены в случае их отказа.

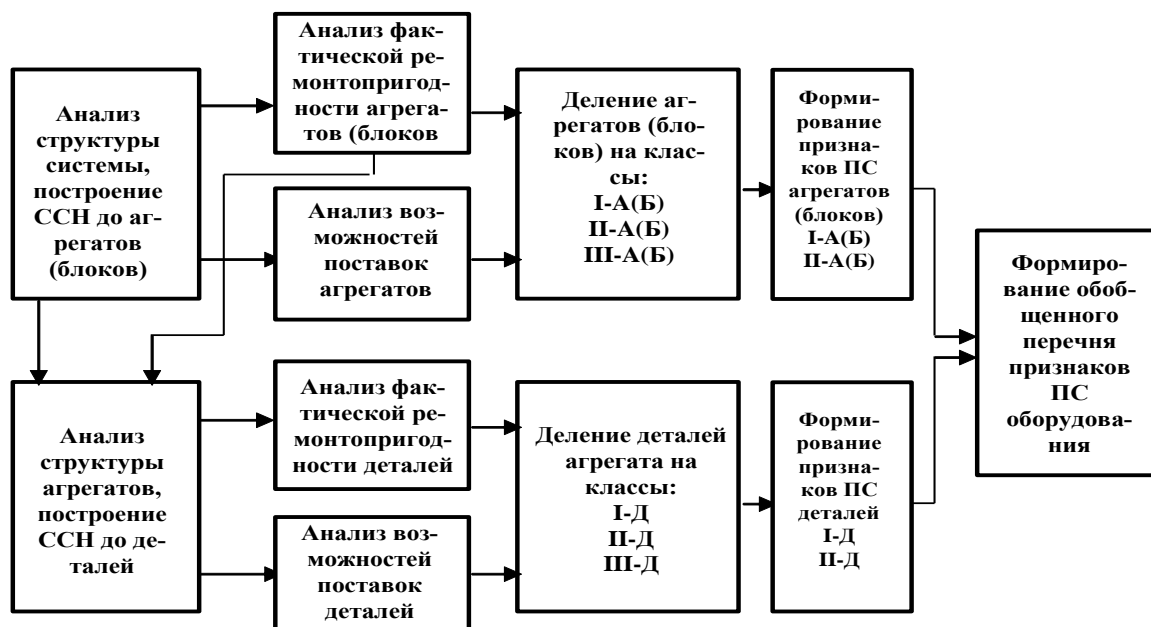


Рис. 2. Формирование признаков предельного состояния составных частей оборудования НС ИКК

На третьем этапе, после того как определены все признаки предельного состояния оборудования НС ИКК, появляется объективная возможность оценить остаточный ресурс оборудования и обосновать необходимый объем операций, обеспечивающий продление назначенных показателей ресурса. Алгоритм обоснования объемов работ приведен на рис. 3.

Исходными данными алгоритма являются: признаки предельного состояния оборудования НС ИКК; результаты эксплуатации и мониторинга в виде отказов и измерений определяющих параметров технического состояния; планируемый интервал продления $T_{пр}$.

С помощью разработанных в [1, 2]. подходов и моделей осуществляется прогнозирование показателей $T_{ор(II)}$ остаточного ресурса механического и радиоэлектронного оборудования по группам составных частей I и II. При этом при прогнозировании остаточного ресурса механического оборудования и РЭО используются модели, изложенные в [5, 6].

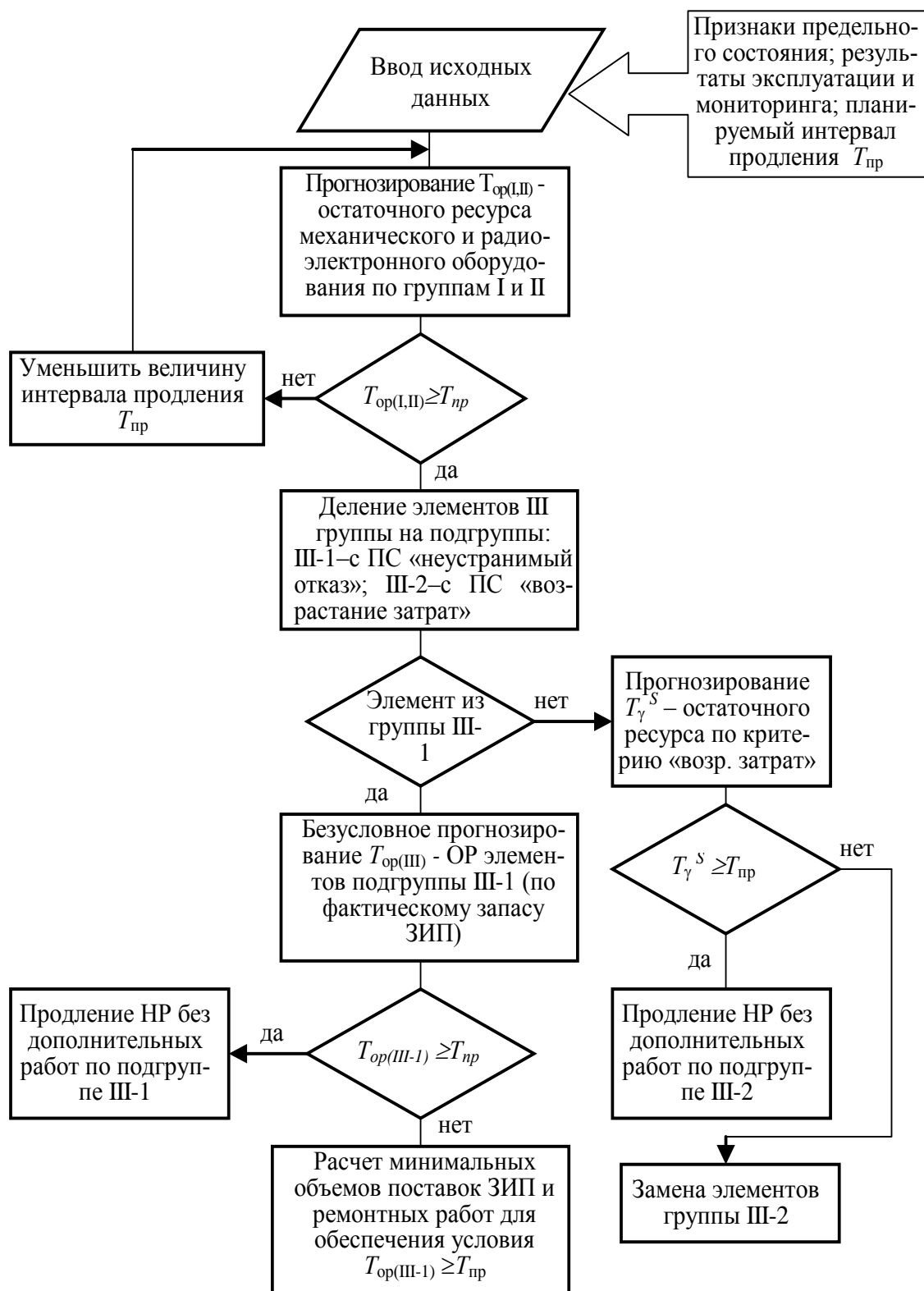


Рис. 3. Алгоритм обоснования объемов работ по продлению назначенного ресурса оборудования НС ИКК

Прогнозирование производится с использованием критерия неустранимого отказа. Если к моменту прогнозирования накоплена дополнительная информация о предыстории воздействия факторов внешней среды и режимах нагружения, о наработках оборудования до отказа

или получены результаты измерений параметров технического состояния при мониторинге, то исходные априорные модели или расчеты с их использованием уточняются с применением способов, изложенных в работах [3, 4].

Далее производится проверка условия $T_{ор(I,II)} \geq T_{пр}$ для каждого элемента оборудования из групп I и II. В случае, если данное условие не выполняется, продлить ресурс НС ИКК на первоначально предполагаемый интервал $T_{пр}$ не представляется возможным и необходимо уменьшить величину интервала продления.

При выполнении условия анализируются составные части оборудования III группы. Производится их деление на две подгруппы: III-1 – с критерием предельного состояния – «неустранимый отказ» и III-2 – с критерием предельного состояния – «возрастание эксплуатационных затрат».

Для элементов первой подгруппы осуществляется безусловное прогнозирование остаточного ресурса $T_{ор(III-1)}$ с учетом фактического запаса ЗИП в эксплуатирующей организации.

Если полученная безусловная оценка остаточного ресурса $T_{ор(III-1)}$ превышает величину планируемого интервала продления $T_{пр}$, то по рассматриваемой составной части оборудования дополнительная поставка ЗИП не требуется. В противном случае осуществляется расчет минимальных объемов поставок ЗИП и ремонтных работ для обеспечения выполнения условия $T_{ор(III-1)} \geq T_{пр}$.

Для элементов второй подгруппы осуществляется прогнозирование остаточного ресурса T_{γ}^S по критерию возрастания эксплуатационных затрат с использованием подхода, описанного в работах [5, 6].

Если выполняется условие $T_{\gamma}^S \geq T_{пр}$, то продление назначенных показателей ресурса может быть осуществлено без дополнительных работ по составным частям оборудования подгруппы III-2. Если рассматриваемое условие не выполнено, то для обеспечения продления назначенных показателей ресурса необходимо заменить все элементы подгруппы III-2. В случае, если такая замена по каким-либо причинам невозможна, следует уменьшить величину предполагаемого интервала продления $T_{пр}$.

Итак, итоговый объем работ по обеспечению продления назначенных показателей ресурса оборудования НС ИКК будет складываться из дополнительных поставок необходимого количества запасных составных частей оборудования III группы. Принципиальные ограничения на возможность продления ресурса НС ИКК определяются остаточным ресурсом оборудования I и II групп.

Если объем оборудования I группы, как правило, фиксирован и обусловлен объективными технологическими ограничениями на возможности восстановления ресурса агрегатов и блоков РЭО в условиях войсковой эксплуатации, то объем оборудования II группы является переменной величиной. В зависимости от причин, ограничивающих возможности восстановления ресурса составных частей оборудования II группы, его состав определяется как слишком высокой стоимостью размещения заказов на производство и поставку запасных частей, так и снятием их с производства из-за морального старения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований сформирована методика обоснования объемов работ по продлению назначенного ресурса НС ИКК, включающая: разделение оборудования НС ИКК на группы по возможности восстановления ресурса в процессе эксплуатации; формирование признаков предельного состояния механического и радиоэлектронного оборудования НС ИКК по критерию неустранимого отказа; обоснование объемов работ по продлению назначенного ресурса НС ИКК на основе разработанного алгоритма.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что использование разработанного

научно-методического обеспечения для уточнения априорных оценок остаточного ресурса позволяет снизить объемы поставок ЗИП и ремонтных работ примерно на 55–75 % от величин, рассчитываемых по априорным моделям. Гарантированный интервал продления увеличивается при этом примерно в 2,5–3 раза. В целом применение разработанного научно-методического обеспечения позволяет на практике реализовать ресурсосберегающую технологию продления ресурса оборудования наземных станций ИКК за счет выборочного восстановления ресурса по фактическому состоянию вместо проведения капитального ремонта. Как показывают предварительные расчеты, данная методика позволяет снизить затраты, т.е. сэкономить государственные средства в целом на 20–25 %.

Список используемых источников

1. *Миронов А.Н., Пальгунов В.Ю., Ковальский А.А.* Математическая модель достижения предельного состояния антенных систем наземных станций измерительного комплекса космодрома Плесецк // *Известия Института инженерной физики.* – 2016. – Т. 1, № 39. – С. 31–36.
2. *Цветков К.Ю., Ковальский А.А., Пальгунов В.Ю.* Прогнозирование остаточного ресурса антенных систем наземных станций измерительных комплексов // *Известия института инженерной физики.* – 2016. – Т. 3, № 41. – С. 17–25.
3. РД 50-202-80. Методические указания. Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. Правила установления в стандартах и конструкторских документах. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 10 с.
4. *Шестопалова О.Л.* Прогнозирование моральной долговечности распределенных информационных систем с учетом прогрессирующих ограничений на возможности восстановления ресурса элементной базы // *Современные проблемы науки и образования.* – 2013. – № 6. – URL: <http://www.science-education.ru/113-11078> (дата обращения: 28.03.2018).
5. *Шестопалова О.Л.* Основы построения систем сбора и обработки информации о техническом состоянии космических средств. – Челны: Изд-во Камской гос. инж.-экон. акад., 2007. – 91 с.
6. *Ломакин М.И., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л.* Многомодельная обработка измерительной информации в интеллектуальных системах прогнозирования надежности космических средств // *Измерительная техника.* – 2014. – № 1. – С. 8–13.

П.В. Калабин,
А.А. Сасункевич,
кандидат техн. наук;
И.В. Фоминов,
доктор техн. наук;

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК ФОРМИРОВАНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ СЕРВИСНОГО КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА НА ТРАЕКТОРИЮ ПАССИВНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБЛЕТА НЕКООПЕРИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В публикации представлены результаты численных исследований влияния ошибок формирования относительных параметров сервисного космического робота на параметры траектории периодического облета обслуживаемого некооперируемого космического аппарата. Приведены аналитические решения, являющиеся исходными для описания периодического облета космическим роботом обслуживаемого некооперируемого космического аппарата. Представлены графики изменения вида траекторий облета в зависимости от ошибок формирования начальных относительных параметров движения космического робота в заданной точке. Оценена возможность реализации пассивного облета космическим роботом некооперируемого космического аппарата, находящегося на эллиптической орбите.

Ключевые слова: космический робот, некооперируемый космический аппарат, пассивный периодический облет, ошибки формирования начальных относительных параметров движения.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологий микроэлектроники, робототехники и искусственного интеллекта способствует реализации задач сервисного обслуживания некооперируемых (пассивных) космических аппаратов (НКА). Под некооперируемыми в работе понимаются космические аппараты (КА), с которыми невозможен взаимный обмен информацией, обеспечивающей решение задач сближения, стыковки или выполнения других маневров группового полета (зависания, подлета, облета). Возможность сервисного обслуживания НКА возможно посредством решения ряда сложных нетривиальных частных задач, связанных с маневрированием в окрестности НКА.

Разработке сервисных космических роботов (КР) в настоящее время уделяют должное внимание как в России, так и за рубежом. В настоящее время проведены космические эксперименты по отработке технологии сближения, дозаправки, замены вычислительных модулей в России и США. Ярким примером успешного эксперимента является запуск орбитальной системы *OrbitalExpress*, включающей два КА: *Astra* и *Nextsat* [1, 2]. В работах [3, 4] приведены решения ряда важнейших задач по сближению и захвату обслуживаемого КА с помощью манипулятора.

Важной особенностью реализации задачи обслуживания пассивного НКА являются подготовительные операции, связанные с необходимостью:

- визуального контроля обслуживаемого НКА с целью диагностирования неисправности;
- подготовки специальной аппаратуры КР;
- ожидания благоприятной ситуации для выполнения сближения с НКА и проведения специальных задач обслуживания;
- построения трехмерной модели НКА методами фотограмметрии [5], а также ряда других задач.

Названные операции необходимо проводить на расстоянии эффективной работы оптико-электронной камеры КР относительно обслуживаемого КА в течение достаточно продолжи-

тельного интервала времени (несколько витков). В работах [6, 7] представлены варианты проведения компланарного пассивного периодического облета и приведены условия для его осуществления.

Под пассивным компланарным периодическим облетом понимается пассивное (без включения корректирующей двигательной установки) движение одного КА относительно другого КА по замкнутой траектории на малом расстоянии (относительное расстояние во много раз меньше расстояния до притягивающего центра) в плоскости, совпадающей с плоскостями орбит КА. Период облета при удовлетворении заданных относительных параметров движения равен периодам орбит движущихся друг относительно друга КА.

Несмотря на достаточно большой объем исследований в области анализа относительного движения двух КА, находящихся на малом расстоянии друг от друга, исследованию пассивного периодического облета уделено недостаточное внимание. В особенности это касается вопросов анализа влияния ошибок формирования начальных условий для выполнения пассивного периодического облета НКА. Учитывая отсутствие в научной литературе рассмотрения этого вопроса, актуальным является проведение исследований по оцениванию влияния ошибок формирования начальных относительных параметров движения КР на траекторию пассивного периодического облета, обслуживаемого НКА.

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ, ПРИ КОТОРЫХ ВОЗМОЖЕН ПАССИВНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ КОМПЛАНАРНЫЙ ОБЛЕТ

Для обеспечения замкнутой траектории пассивного периодического облета космическим роботом НКА необходимо удовлетворить ряд требований, предъявляемых к начальным значениям относительных параметров движения КР. Основным условием этого является выведение КР на эллиптическую орбиту, компланарную круговой орбите НКА, с периодом обращения, равным периоду обращения НКА на круговой орбите. На рис. 1 изображен маневр перехода КР с промежуточной круговой орбиты на эллиптическую орбиту НКА. Целью такого маневра является попадание в точку $A_{кр}$, соответствующую апогею эллиптической орбиты. В этой точке КР будет находиться «выше» НКА на расстоянии Δr_A , что соответствует начальной относительной координате y_0 в подвижной орбитальной системе координат (ОСК) НКА.

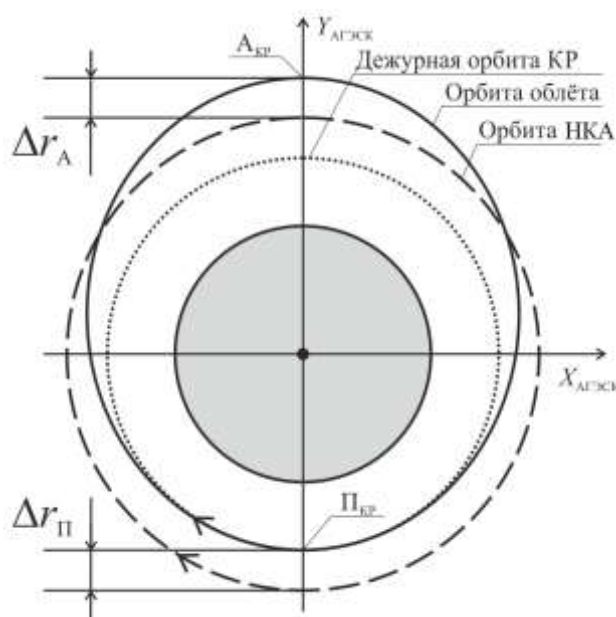


Рис. 1. Орбиты КР и НКА

В качестве исходных данных примем, что орбита КР является экваториальной и имеет высоту в апогее 500 км. Величина эксцентриситета орбиты КР будет определять максимальное относительное расстояние Δr_A и Δr_{II} между КР и НКА в процессе облета, а также вид относительной траектории облета.

В качестве допущений принято следующее:

- 1) орбита НКА является круговой;
- 2) отсутствуют возмущающие силы и моменты, влияющие на траекторию движения КР;
- 3) гравитационное поле Земли является центральным, и его аномалии не учитываются.

С учетом принятых допущений уравнения движения КР относительно НКА, находящегося на круговой орбите, имеют следующие решения [6]:

$$\begin{cases} x = (x_0 + 2 \frac{\dot{y}_0}{\omega}) - 2 \frac{\dot{y}_0}{\omega} \cos \omega t + 2(2 \frac{\dot{x}_0}{\omega} - 3y_0) \sin \omega t - (3 \frac{\dot{x}_0}{\omega} - 6y_0) \cos \omega t; \\ y = 2(2y_0 - \frac{\dot{x}_0}{\omega}) + \frac{\dot{y}_0}{\omega} \sin \omega t - (3y_0 - \frac{2\dot{x}_0}{\omega}) \cos \omega t; \\ z = z_0 \cos \omega t + \frac{\dot{z}_0}{\omega} \sin \omega t. \end{cases} \quad (1)$$

В приведенных уравнениях обозначены: $\{x, y, z\}$ – относительные координаты КР в подвижной ОСК НКА; $\{x_0, y_0, z_0\}$ – начальные относительные координаты КР в ОСК НКА; ω – угловая орбитальная скорость НКА.

Уравнения (1) в плоскости орбиты НКА $OXYZ$ можно преобразовать к следующему виду:

$$\begin{cases} x - K_1 + K_2 \omega t = \frac{2K_4}{\cos \alpha} \cos(\alpha + \omega t); \\ y - K_5 = \frac{K_4}{\cos \alpha} \sin(\alpha + \omega t), \end{cases} \quad (2)$$

где $K_1 = x_0 + 2 \frac{\dot{y}_0}{\omega}$;

$$K_2 = 3 \left(\frac{\dot{x}_0}{\omega} - 2y_0 \right);$$

$$K_3 = \frac{2\dot{x}_0}{\omega} - 3y_0;$$

$$K_4 = \frac{\dot{y}_0}{\omega};$$

$$K_5 = 2 \left(2y_0 - \frac{\dot{x}_0}{\omega} \right);$$

$$\alpha = \arctg \frac{K_3}{K_4}.$$

В таком случае траектория облета НКА определяется уравнением

$$\frac{(x - K_1 + K_2 \omega t)^2}{a^2} + \frac{(y - K_5)^2}{b^2} = 1, \quad (3)$$

где $a = 2b$;

$$b = \frac{K_4}{\cos \alpha}.$$

Анализ уравнения (3) позволяет сделать следующие важные выводы:

1) при произвольных начальных относительных координатах $\{x_0, y_0, z_0\}$ траектория движения КР в ОСК НКА является циклоидой, т.е. движение происходит по эллипсу со смещенным центром, который перемещается со скоростью $V_{00} = 3(\dot{x}_0 - 2y_0\omega)$ вдоль оси OX ОСК НКА;

2) из уравнения (3) видно, что траектория движения КР будет замкнутой при выполнении следующих условий:

$$K_1 = 0; K_2 = 0; K_5 = 0; \quad (4)$$

В этом случае уравнение (3) можно представить в следующем виде:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1. \quad (5)$$

То есть движение КР будет происходить по траектории, соответствующей эллипсу с центром, совмещенным с центром НКА.

Таким образом, для реализации пассивного периодического компланарного облета необходимо выполнение следующих условий:

1) относительная скорость КР в начальной точке (x_0, y_0) эллипса должна иметь значения, определяемые следующими соотношениями:

$$\dot{x}_0 = 2y_0\omega, \quad \dot{y}_0 = -\frac{\omega x_0}{2}. \quad (6)$$

2) при перемещении КР в другие точки пересечения эллипса с осями ОСК НКА значения начальных относительных параметров движения КР должны определяться следующими соотношениями:

$$x_0 = 0, \quad \dot{y}_0 = 0, \quad \dot{x}_0 = 2\omega y_0, \quad a = 2y_0; b = y_0 \quad (7)$$

$$a = x_0; b = \frac{x_0}{2}. \quad (8)$$

Аналитические решения (1) – (8), описывающие траектории облета НКА, получены при допущениях, упомянутых выше.

На практике траектория облета НКА не будет являться эллипсом и вообще замкнутой траекторией. Далее приводятся результаты исследований влияния ошибок формирования начальных относительных параметров КР, обусловленных несовершенством системы управления КР, на траекторию облета НКА.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК ФОРМИРОВАНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ КООРДИНАТ КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА НА ТРАЕКТОРИЮ ПАССИВНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБЛЕТА НЕКООПЕРИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Для анализа влияния ошибок формирования начальных относительных координат КР $\Delta x \neq 0, \Delta y \neq 0, \Delta z \neq 0$ на траекторию пассивного периодического облета НКА построены несколько траекторий, форма которых зависит от приращения ошибки δh по каждой оси ОСК НКА в отдельности. Приращение δh задано в процентном соотношении от минимального относительного расстояния между КР и НКА.

В качестве примера задана эллиптическая орбита КР, для которой минимальное относительное расстояние до НКА составляет 5 км. В этом случае при $\delta h = \pm 0,1$ ошибка формирования одной из начальных координат в точке апогея $A_{кр}$ будет составлять ± 500 м. Для анализа изменения формы и параметров замкнутой траектории облета в зависимости от ошибок относительных координат на рис. 2–5 приведены результаты исследования для трех витков.

На рис. 2 показаны траектории облета КР при различных ошибках формирования начальной относительной координаты $\Delta x \neq 0$ в ОСК НКА. Из рис. 2 видно, что в случае ненулевой ошибки формирования относительно начальной координаты $\Delta x \neq 0$ центр облета смещается вдоль оси OX ОСК НКА влево, но при этом траектория облета остается замкнутой. Это позволяет сделать важные в практическом отношении выводы:

1) смещение центра облета при ошибках, соизмеримых с относительным расстоянием $\Delta r_{П}$, может привести к аварийной ситуации – столкновению КР с НКА;

2) с другой стороны, это смещение позволяет обеспечить условия для пассивного сближения КР с НКА в случае необходимости проведения стыковки.

Таким образом, полученные результаты позволяют сформировать требования к формированию начальной относительной координаты КР по оси OX ОСК НКА, как для случая пассивного облета, так и для случая пассивного сближения.

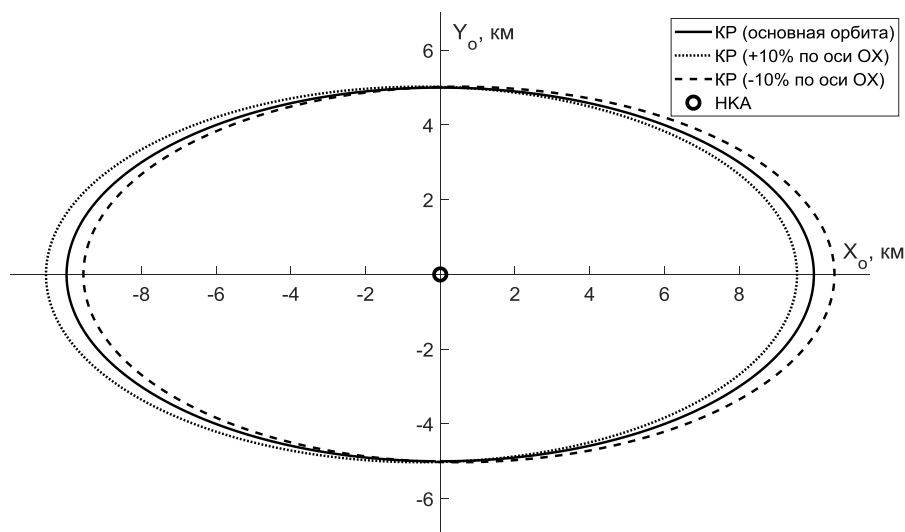


Рис. 2. Изменение центра облета НКА при ошибке формирования начальной относительной координаты вдоль оси OX ОСК в точке перигея

Проведены аналогичные исследования влияния ошибки формирования начальной относительной координаты вдоль оси OY ОСК НСК в точке апогея $A_{КР}$. На рис. 3 приведены траектории облета НКА при ненулевых ошибках формирования относительной координаты $\Delta y \neq 0$.

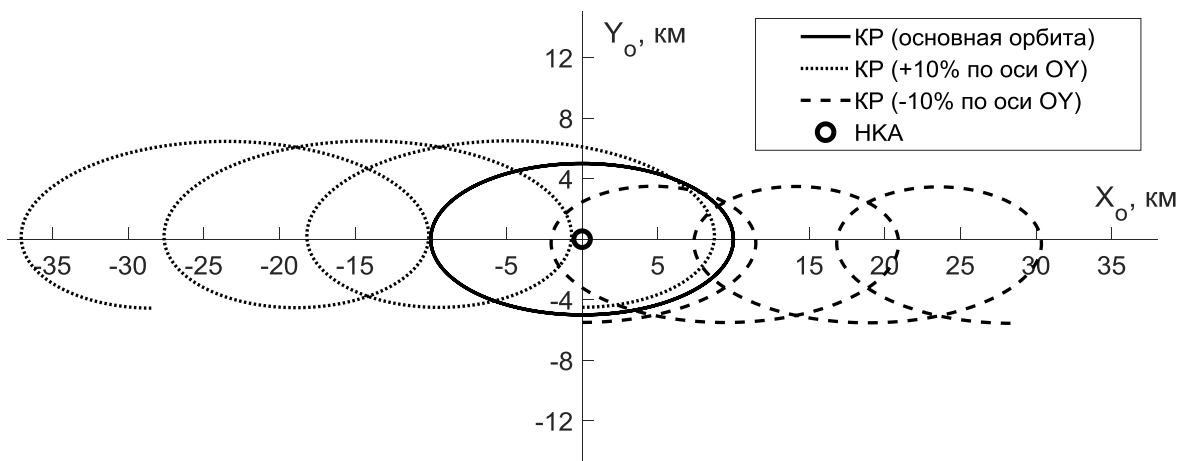


Рис. 3. Изменение траектории облета КР при ошибке формирования начальной относительной координаты вдоль оси OY ОСК НКА в точке перигея

Из рис. 3 видно, что траектория облета КР при $\Delta y \neq 0$ представляет собой циклоиду и облет НКА с течением времени будет невозможен. Причем при отрицательной ошибке $\Delta y < 0$ траектория относительного движения КР смещается вправо вдоль оси OX ОСК НКА. При этом амплитуда циклоиды (максимальное расстояние от линии, проходящей через центр НКА) уменьшается. При положительной ошибке $\Delta y > 0$ траектория относительного движения КР смещается влево вдоль оси OX ОСК НКА. А амплитуда циклоиды увеличивается. Это объясняется тем, что в точке апогея эллиптической орбиты КР, совпадающей с точкой начала пассивного облета, относительная координата y_0 формирует значение амплитуды циклоиды вдоль оси y ОСК КА.

На рис. 4 приведены графики изменения траектории облета при ненулевых ошибках выведения $\Delta z \neq 0$ по оси OZ ОСК.

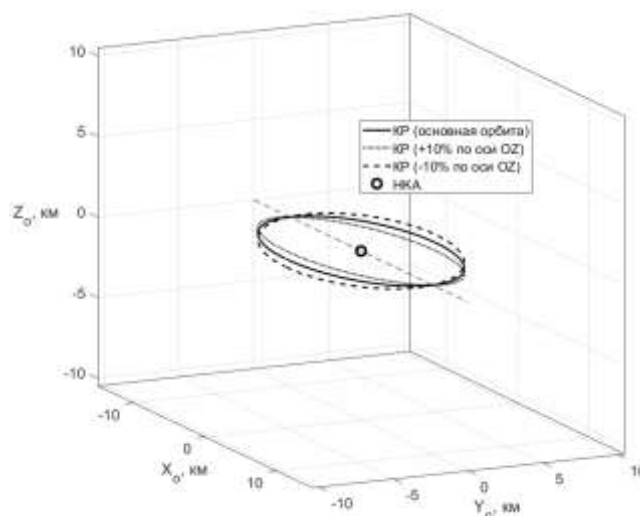


Рис. 4. Изменение плоскости траектории облета КР при ошибке формирования начальной относительной координаты вдоль оси OZ ОСК НКА в точке перигея

В данном случае траектория облета КР остается замкнутой, но происходит поворот ее плоскости вокруг воображаемой линии абсид, параллельной оси OX ОСК. То есть в данном случае относительное движение КР становится не в плоскости орбиты НКА, поскольку плоскость орбиты КР также меняет свою ориентацию. Следовательно, при ошибках формирования начальной координаты вдоль оси OZ облет НКА перестает быть компланарным. Это обстоятельство свидетельствует, что ошибка формирования начальной координаты $\Delta z \neq 0$ не влияет на замкнутость траектории пассивного облета НКА, но оказывает существенное влияние на некомпланарность облета и на максимальное относительное расстояние.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК ФОРМИРОВАНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА НА ТРАЕКТОРИЮ ПАССИВНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБЛЕТА НЕКООПЕРИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Для проведения исследования влияния ошибок формирования начальных относительных скоростей КР $\Delta \dot{x} \neq 0$, $\Delta \dot{y} \neq 0$, $\Delta \dot{z} \neq 0$ в точке апогея A_{KR} на траекторию облета НКА примем ошибки формирования относительных координат равными нулю: $\Delta x = 0$, $\Delta y = 0$, $\Delta z = 0$.

На рис. 5–7 приведены изменения траектории облета при наличии ошибок выведения по скорости в разных направлениях.

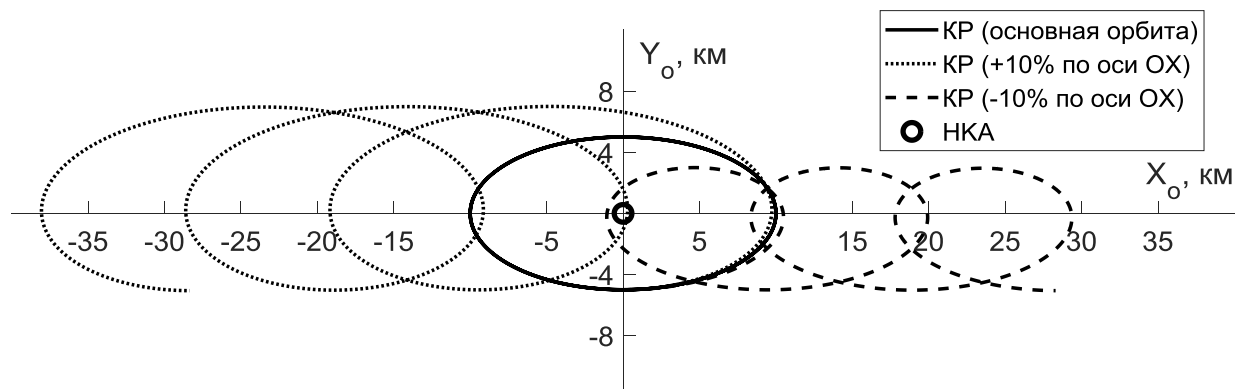


Рис. 5. Изменение вида траектории облета КР при ошибке формирования начальных скоростей по оси OX ОСК в точке перигея

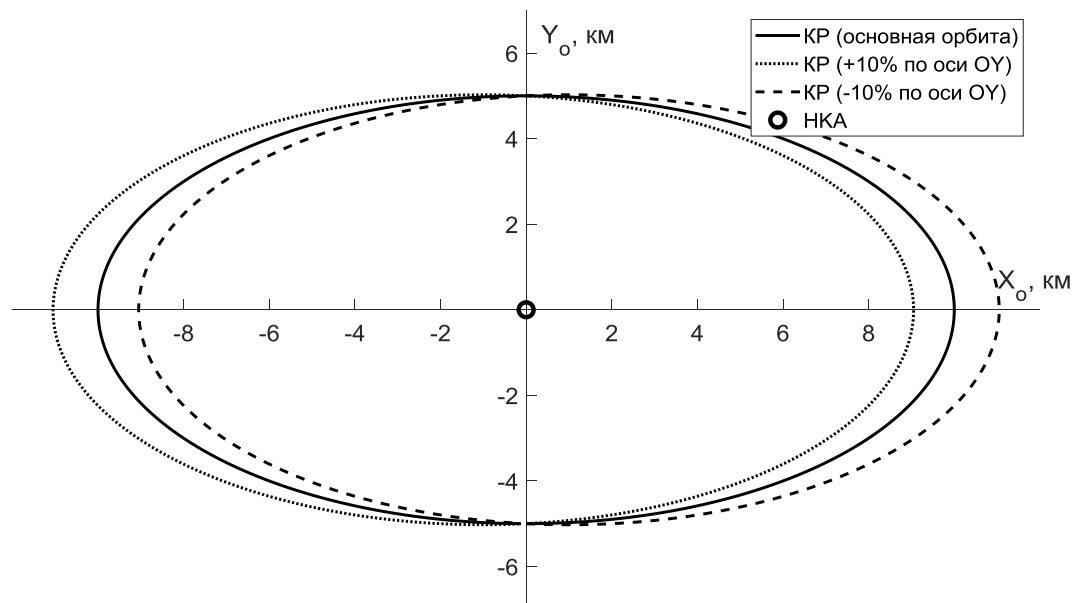


Рис. 6. Изменение вида траектории облета КР при ошибке формирования начальных скоростей по оси OY ОСК в точке перигея

Из рис. 5 видно, что в случае ненулевых ошибок по скорости в направлении оси OX ОСК относительная траектория облета КР примет вид циклоиды со смещением воображаемого центра облета вдоль оси OX . В случае несовпадения центра облета с геометрическим центром НКА на величину $\Delta x(t) = \Delta r_A$ происходит пересечение орбит НКА и КР, что создает предпосылки к столкновению КР с НКА. При увеличении ошибок по скорости вдоль оси OX ОСК облет НКА производиться не будет.

Анализ результатов моделирования при ненулевых ошибках формирования относительной скорости по оси OY ОСК свидетельствует о смещении траектории облета вдоль оси OX ОСК.

При ненулевой ошибке формирования относительной скорости по оси OZ ОСК наблюдается отклонение плоскости облета от плоскости OXY ОСК. При этом происходит вращение плоскости OXY вокруг оси OY ОСК в направлении, соответствующем знаку ошибки $\Delta \dot{z} \neq 0$.

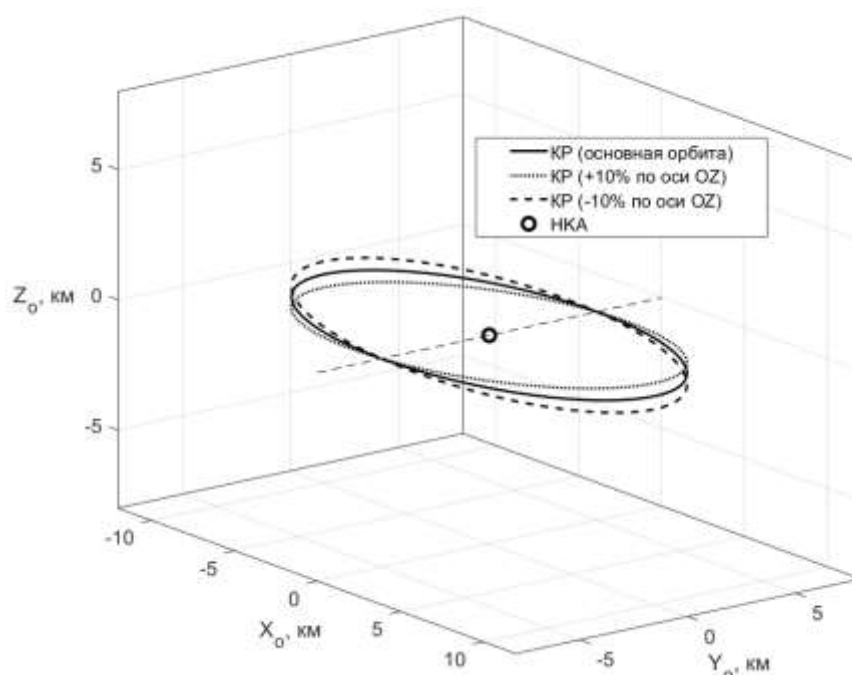


Рис. 7. Изменение вида траектории облета КР при ошибке формирования начальных скоростей по оси OZ ОСК в точке перигея

Анализ графиков, приведенных на рис. 5–7, показывает, что наиболее критичным с точки зрения безопасности выполнения облета является ошибка формирования относительной скорости по оси OX ОСК НКА, поскольку она вызывает смещение центра облета со скоростью $\Delta V = 3(\Delta \dot{x}_0 - 2y_0\omega)$ и может способствовать опасному сближению КР с НКА.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА ОРБИТЫ ПАССИВНОГО НЕКООПЕРИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ВИД ТРАЕКТОРИИ ОБЛЕТА

В ряде случаев актуальным является исследование возможности реализации облета НКА, находящегося на эллиптической орбите. Для подтверждения возможности осуществления такого облета можно привести пример, когда орбита НКА будет иметь одинаковые кеплеровские элементы с орбитой КР, за исключением эксцентриситета. Эксцентриситет орбиты КР определяется следующим соотношением:

$$e_{\text{КР}} = \frac{\Delta r_{\text{А}}}{a} + e_{\text{КА}},$$

где $e_{\text{КР}}$ – эксцентриситет орбиты КР;

$e_{\text{КА}}$ – эксцентриситет орбиты ОО;

$\Delta r_{\text{А}}$ – перигей облета КР (минимальное расстояние до НКА);

a – большая полуось орбит КР и НКА.

Далее приведены результаты исследования влияния значения эксцентриситета НКА на вид траектории облета КР.

Для исследования влияния эксцентриситета орбиты НКА в интервале от 0 до 0,8 с шагом 0,2 на траекторию его облета проведено численное моделирование. Полученные результаты

исследования позволили провести качественный анализ изменения траектории облета НКА при изменении его орбиты от круговой до высокоэллиптической.

В качестве исходных данных для моделирования выбраны параметры экваториальной орбиты НКА с размером большой полуоси $a = 42300$ км.

На рис. 8 приведены орбиты НКА при различных эксцентриситетах, а на рис. 9 соответствующие им относительные траектории облета, производимого КР.

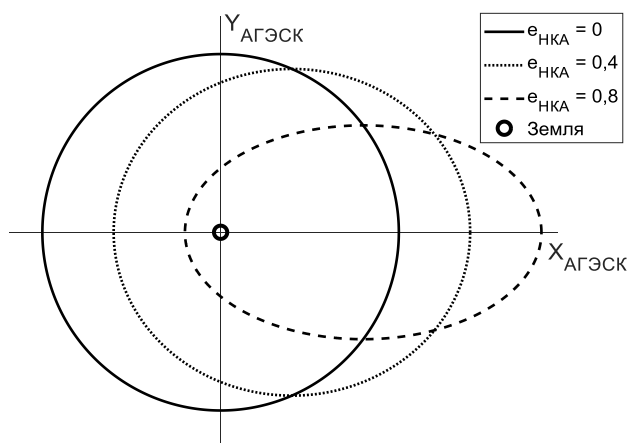


Рис. 8 Орбиты НКА при разных значениях эксцентриситета в проекциях на оси АГЭСК

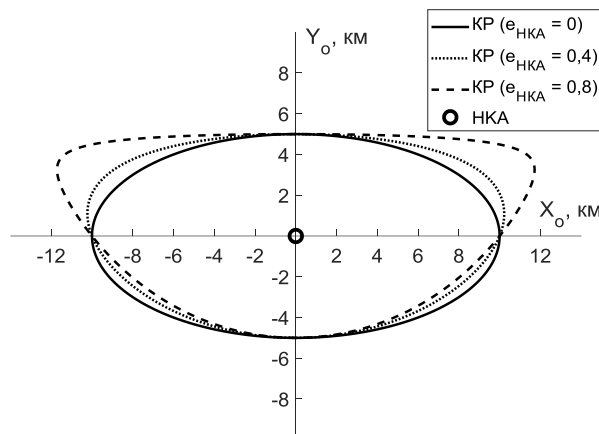


Рис. 9 Вид траекторий облета при изменении эксцентриситета орбиты НКА

Анализ результатов моделирования процесса реализации облета космическим роботом НКА, находящегося на эллиптической орбите, позволяет сделать следующие выводы:

1. При идеальном выведении КР в точку перигея облета НКА наблюдается периодический компланарный облет по замкнутой траектории вокруг центра КА.
2. Вид траектории облета КР при увеличении эксцентриситета НКА существенно изменяется. Причем чем больше эксцентриситет, тем значительнее наблюдается отличие формы траектории облета от эллипса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование влияния ошибок формирования начальных относительных параметров движения сервисного космического робота на траекторию пассивного периодического облета НКА позволили сделать важные в практическом отношении выводы:

1. При ошибке формирования относительной координаты $\Delta x \neq 0$ центр траектории облета НКА смещается вдоль оси OX , но при этом сама траектория остается замкнутой.
2. При ошибке формирования относительной координаты $\Delta y \neq 0$ траектория относительного движения КР представляет собой циклоиду. Эта ошибка является наиболее критичной, поскольку она может привести к столкновению КР и НКА.
3. При ошибке формирования относительной координаты $\Delta z \neq 0$ ориентация плоскости траектории облета НКА изменяется на угол, пропорциональный значению Δz , вокруг оси OX ОСК НКА. В этом случае происходит облет НКА космическим роботом в плоскости, не совпадающей с плоскостью орбиты НКА (некомпланарный облет).
4. Пассивный компланарный облет НКА может быть реализован как для круговой орбиты НКА, так и для его эллиптической орбиты. В случае эллиптической орбиты НКА траектория облета КР является замкнутой кривой (при отсутствии ошибок формирования начальных относительных параметров движения), не являющейся эллипсом.

Список используемых источников

1. Чёрный И.В. Запущен спутник контроля космической обстановки // Новости космонавтики. – 2010. – № 11. – С. 34–36.
2. Wilson J.R. Satellite hopes ride on Orbital Express // Aerospace America. – 2007. – № 8. – С. 30–35.
3. Рутковский В. Ю., Суханов В. М., Глумов В. М. Некоторые вопросы управления свободнолетающим космическим манипуляционным роботом // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 11. – С. 62–83.
4. Суханов В.М, Рутковский В.Ю., Глумов В.М. Определение рабочей зоны и требуемого начального положения свободнолетающего космического робота при захвате цели // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 11. – С. 150–159.
5. Определение положения космических аппаратов путем обнаружения и сопровождения естественных конструктивных особенностей с использованием существующих телевизионных камер / Д.Н. Степанов, А.В. Бахшиев, Е.Ю. Смирнова и др. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. – СПб.: НИИ телевидения. – 2016. – № 1. – С. 61–77.
6. Королёв С.Ю., Фоминов И.В. Алгоритм начальной выставки космического аппарата-робота для выполнения облета орбитального объекта // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 655. – С. 157–161.
7. Королёв С.Ю., Голяков А.Д., Фоминов И.В. Анализ точности автономной навигации космического робота при диагностике технического состояния орбитального объекта // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Том 16, № 1. – С. 31–41.

Н.А. Козлов,
кандидат техн. наук;
А.В. Прокофьев,
кандидат техн. наук;
Э.А. Рагимов,
кандидат физико-математических наук;
Д.В. Сергеев,
кандидат техн. наук

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЛИНЕЙНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ПРИ РАСЧЕТЕ ЕЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

В статье формулируются предложения по учету влияния деформаций фазированной антенной решетки на погрешность положения ее диаграммы направленности при условии, когда величины деформаций существенно меньше длины волны. Предлагается подход к оценке погрешностей в углах сканирования деформированной фазированной антенной решетки, основанный на раздельном учете приращений шага линейной антенной решетки и разворотах сторон между парами излучателей.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, деформации, положение диаграммы направленности.

Крупноапертурные стационарные фазированные антенные решетки (ФАР), составляющие основу современных антенных систем, в процессе их создания и эксплуатации подвержены различного рода деформациям (кренам строк, столбцов излучателей, прогибам и азимутальным разворотам плоскости антенного полотна). Наличие деформаций такого рода приводит к перемещению излучателей ФАР от их проектного положения, разворотам сторон (линий, соединяющих излучатели по строкам и столбцам) между ними, изменению шага по строкам и столбцам решетки. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют [1, 2], что с изменением шага решетки возникают погрешности в углах сканирования диаграммой направленности антенны, а развороты сторон между излучателями приводят к развороту ее направления по азимуту (углу места) относительно проектного положения. Справедливо утверждать, что если деформации полотна ФАР существенно меньше длины волны, то возникающими фазовыми сдвигами между полями соседних излучателей можно пренебречь. Тогда отклонение направления максимума диаграммы направленности от проектного положения будет определяться усредненным наклоном фактической плоскости антенного полотна, что позволяет оценить уход направления максимума диаграммы направленности исходя из геометрических построений.

Погрешности шага решетки, возникающие вследствие ее деформаций, приводят к погрешности угла сканирования диаграммой направленности антенны, которую можно определить (в диапазоне сканирования примерно 80°) по формуле

$$\Delta\theta = \rho \operatorname{tg} \theta \frac{\Delta d}{d}, \quad (1)$$

где $\Delta\theta$ – погрешность сканирования диаграммой направленности;
 θ – задаваемый угол сканирования;
 Δd – погрешность шага антенной решетки;
 $\rho = 206265''$

Среднее значение погрешности Δd в шаге решетки и соответствующие ее величине поправки в углах сканирования диаграммой направленности можно получить, если определить

координаты всех излучателей. Применительно к современным ФАР, на которых размещается большое количество излучателей (более 1000), такой подход связан с продолжительными временными затратами. Поэтому в рассматриваемом случае задача по оценке влияния деформационных искажений ФАР на положение максимума диаграммы направленности решается на примере линейной антенной решетки.

В первом приближении исходное положение максимума диаграммы направленности деформированной ФАР (при отсутствии разности фаз питающих сигналов между излучателями) можно определить по усредненным значениям разворотов между парами элементов (излучателей). При этом среднее положение максимума диаграммы направленности деформированной решетки будет совпадать с положением нормали, построенной к отрезку $[O; (N-1)']$ (рис. 1) и определяющей положение фактической плоскости антенного полотна.

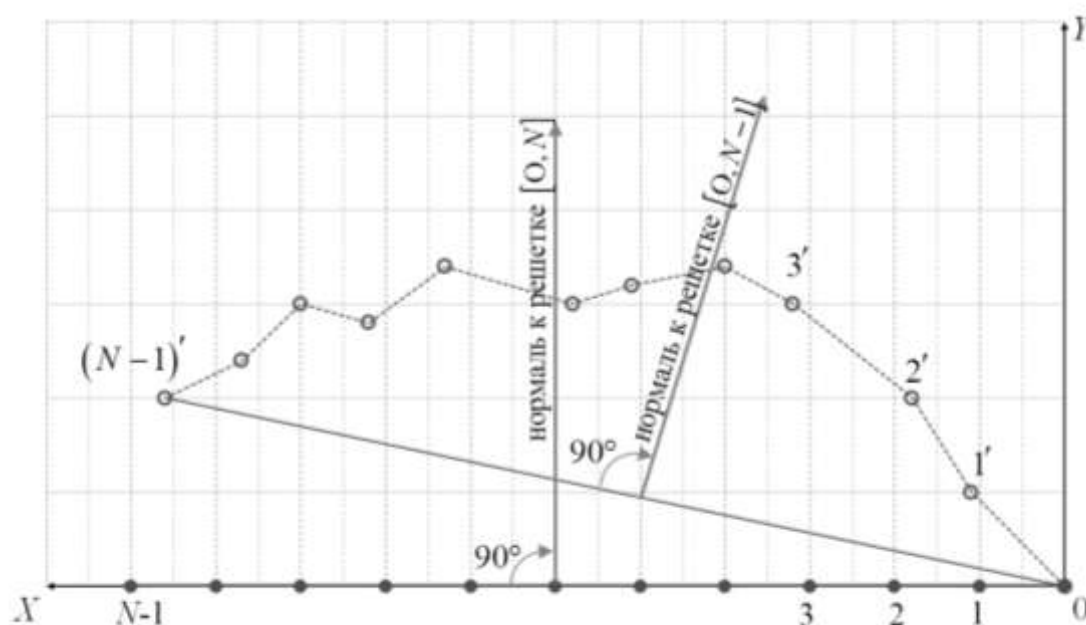


Рис. 1. Геометрическая интерпретация линейной антенной решетки

Очевидно, что в случае симметричного распределения отклонений элементов относительно нормали, проведенной к отрезку $[O; (N-1)']$, поля излучения отдельных симметрично расположенных элементов в направлении нормали будут суммироваться в фазе и сформируют максимум диаграммы направленности. В случае асимметрии этого распределения может возникнуть дополнительный разворот направления максимума излучения. С учетом этого предлагается для оценки влияния несимметричных отклонений элементов решетки учитывать степень влияния пар излучателей на результирующее положение максимума диаграммы направленности антенны.

Для данной оценки рассмотрим линейную решетку, состоящую из девяти элементов (оцифрованных от 0 до 8). Можно показать, что развороты сторон между парами излучателей линейной антенной решетки, вызываемые малыми величинами перемещений ее элементов от проектного положения, определяются формулами:

$$\begin{aligned} i_{01} &= \frac{(y_1 - y_0)}{d} \rho; & i_{02} &= \frac{1}{2} \frac{(y_2 - y_0)}{d} \rho; & i_{03} &= \frac{1}{3} \frac{(y_3 - y_0)}{d} \rho; & \dots; \\ i_{13} &= \frac{1}{2} \frac{(y_3 - y_1)}{d} \rho; & i_{14} &= \frac{1}{3} \frac{(y_4 - y_1)}{d} \rho & \dots & i_{18} = \frac{1}{7} \frac{(y_8 - y_1)}{d} \rho, \dots, \end{aligned} \quad (2)$$

где y_i – ордината элемента линейной решетки в системе координат, в которой ось X развернута до совмещения с направлением строки АР.

Для учета фазовых погрешностей, обусловленных деформационными искажениями полотна ФАР, необходимо оценить степень влияния отклонения отдельного элемента на деформации полотна ФАР в целом. Тогда в соответствии с формулами (2) при положительном перемещении начального (0) элемента (рис. 2) относительно его проектного положения все стороны между ним и отдельными элементами разворачиваются против хода часовой стрелки с весовыми коэффициентами от $k_0 = -1$ до $k_0 = -1/8$. Перемещения внутренних элементов от проектного положения вызывают развороты смежных элементов на один и тот же угол в разных направлениях, и их влияние на направление максимума диаграммы направленности взаимно компенсируется.

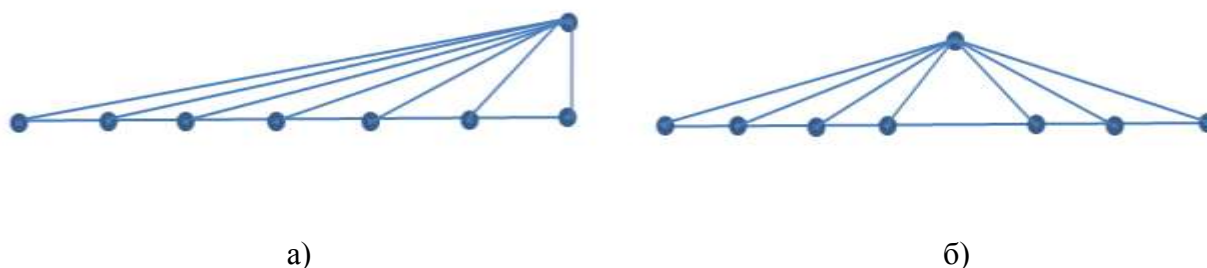


Рис. 2. Взаимное перемещение элементов антенной решетки

С учетом сказанного выше весовые коэффициенты, определяющие степень указанного влияния, можно оценить по формулам:

$$\begin{aligned}
 n_0 : \sum_{i=0} k_i &= -\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}\right) = -2,717; & n_5 : \sum_{i=0} k_i &= \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{5}\right) = 0,450; \\
 n_1 : \sum_{i=0} k_i &= -\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}\right) = -1,592; & n_6 : \sum_{i=0} k_i &= \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6}\right) = 0,949; \\
 n_2 : \sum_{i=0} k_i &= -\left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6}\right) = -0,949; & n_7 : \sum_{i=0} k_i &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7}\right) = 1,592; \\
 n_3 : \sum_{i=0} k_i &= -\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{5}\right) = -0,450; & n_8 : \sum_{i=0} k_i &= \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8}\right) = 2,717. \\
 n_4 : \sum_{i=0} k_i &= 0;
 \end{aligned}$$

Максимальные изменения в значениях весовых коэффициентов, определяющих степень влияния, при переходе к смежным элементам возникают на концах линейной антенной решетки. С переходом от крайнего элемента к внутренним элементам линейной антенной решетки суммарный коэффициент $\sum k_i$ последовательно уменьшается примерно на единицу, затем на $1/2$, $1/3$ и т.д. Указанная закономерность снижения воздействия перемещений на фактическую картину деформационных искажений антенного полотна с приближением элемента к середине решетки сохраняется при любом их количестве.

Для сравнения рассмотрим весовые коэффициенты для линейных решеток, состоящих из 9 (табл. 1) и 25 (табл. 2) элементов с одинаковыми шагами. С перемещением от крайнего к среднему элементу линейной антенной решетки их коэффициенты принимают значения, указанные в таблицах.

Анализ численных данных, приведенных в табл. 1 и 2, позволяет сделать заключение о том, что значения весовых коэффициентов для ФАР с различным числом элементов мало отличаются.

Таблица 1

Значение k_i для $n_i (i = 0...8)$

k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
2,717	1,592	0,949	0,45	0	-0,45	-0,949	-1,592	-2,717

Таблица 2

Значение k_i для $n_i (i = 0...24)$

k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
3,8	2,758	2,215	1,836	1,538	1,288	1,069	0,847	0,663
k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}
0,489	0,323	0,160	0	-0,160	-0,323	-0,489	0,663	0,847
k_{18}	k_{19}	k_{20}	k_{21}	k_{22}	k_{23}	k_{24}		
1,069	1,288	1,538	1,836	2,215	2,758	3,8		

Высокая скорость снижения величины весовых коэффициентов на конечных элементах линейной антенной решетки свойственна для любого числа элементов. Зависимости, приведенные на рис. 3, отличаются лишь протяженностью прямолинейного характера изменения величин коэффициентов с увеличением числа элементов в линейной антенной решетке.

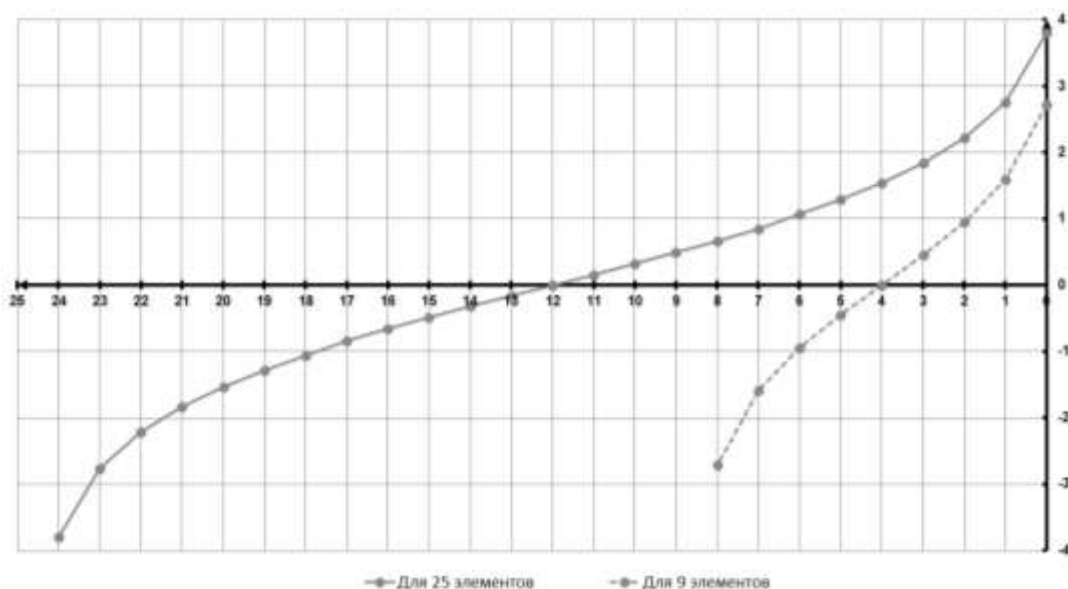


Рис. 3. Весовые коэффициенты воздействия перемещений элементов линейной решетки при различном количестве элементов в антенной решетке

Высокая скорость уменьшения величины коэффициента разворота на конечных участках линейной решетки еще не является основанием того, что влиянием остаточных перемещений внутренних элементов можно пренебречь. Данные о весовых коэффициентах могут быть использованы для расчета амплитудно-фазовых соотношений, определяющих диаграмму направленности антенны.

Изложенный выше подход к оценке влияния малых деформационных искажений на положение максимума диаграммы направленности в случае плоских антенных решеток очевидно применим к каждой строке и каждому столбцу линейной антенной решетки. В дальнейшем предлагается: исследовать рамки применимости предложенного подхода при различных деформациях линейной решетки; учесть неравномерность амплитудного распределения в ре-

шетке, изменение фазовых соотношений при фазовом управлении диаграммой направленности. Кроме того, требуется оценить возможность использования данного подхода в плоских ФАР.

Список используемых источников

1. Амплитудно-фазовое распределение поля на раскрыве деформированной активной фазированной антенной решетки / Ю.А. Шишов, Н.А. Козлов, Д.В. Сергеев и др. // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – № 10. – С. 68–73.
2. *Леонов С.А.* Влияние деформаций элементов конструкции плоской моноимпульсной ФАР на точность пеленгации // Антенны /под ред. Г.Г. Бубнова. – М.: Радио и связь, 1988. – Вып. 35. – С. 80–89.
3. Аналитическое представление крупноапертурной стационарной фазированной антенной решетки / Н.А. Козлов, А.В. Прокофьев, Д.В. Сергеев и др. // Информация и Космос. – 2017. – № 3. – С. 26–30.
4. *Сергеев Д.В.* Основы единой методики комплексного геодезического контроля с применением косвенного ориентирования в процессе жизненного цикла РЛС ВЗГ // Сб. материалов II Всероссийской научно-технической конференции РТИ Системы ВКО-2014. – М.: РТИ Системы, 2014. – С. 345–353.

В.М. Захаров,
И.В. Наумчик,
кандидат техн. наук, доцент;
М.М. Пеньков,
доктор техн. наук, профессор;
Л.А. Сырцов,
кандидат техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЛИЯНИЯ НА НЕЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В публикации рассматривается способ определения степени черноты поверхностей различных металлов, основанный на использовании балансовых соотношений излучаемой энергии. Созданная установка может быть использована для точного определения степени черноты поверхностей твердых тел в широком интервале температур и последующем определении температурной зависимости степени черноты с учетом особенностей физических свойств образцов.

Ключевые слова: тепловое излучение, степень черноты, температура, экспериментальная установка.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловое излучение (ТИ) как одна из форм энергообмена все чаще является определяющим в современных энергетических устройствах. Наряду с теплопроводностью и конвективным теплообменом его относят к элементарным видам теплообмена. Отличительная особенность этого вида теплообмена заключается в том, что для теплового излучения не требуется сплошная среда, поскольку тепловая энергия переносится электромагнитными волнами. Поэтому ТИ является единственно возможным способом распространения тепловой энергии в вакууме, например в космосе, и определяющим способом при высоких температурах сплошных сред. Кроме того, теплообмен излучением большую роль играет в освоении принципиально новых видов техники и технологии, получении материалов с новыми свойствами, в создании высокоэффективной тепловой изоляции с новыми свойствами, способствующей интенсивному развитию криогенной техники.

Электромагнитная энергия поля, излучаемая с поверхности реального твердого тела или поглощаемая им, определяется температурой тела, его природой и состоянием поверхности. Для равновесного излучения влияние состояния поверхности на излучательную способность в целом выражается через интегральную степень черноты, которую определяют экспериментально, так как в настоящее время не существует методов теоретического расчета величин относительной излучательной и поглощательной способностей тел.

Степень черноты различных материалов сильно зависит от состояния поверхности, способа ее обработки, температуры и других факторов.

Данные по степени черноты для ряда технических материалов являются в известной мере приближенными не только в силу различного влияния указанных выше факторов, но также из-за различия экспериментальных данных у разных авторов [1–3].

Настоящая работа преследует цель получить уточненные зависимости излучательной способности и степени черноты от температуры для материалов, имеющих широкое практическое применение.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время для измерения степени черноты поверхностей твердых тел применяются методы, основанные на сравнении величины, измеряемой оптическим пирометром, мощности лучистого потока нагретых тел с известной степенью черноты поверхности и мощности лучистого потока тела с неизвестной степенью черноты, которую требуется определить, а также на сравнении температуры излучающих поверхностей твердого тела с известной степенью черноты и температуры излучающей поверхности тела с неизвестной степенью черноты и др.

В табл. 1 представлен обзор существующих методов определения степени черноты поверхностей различных материалов.

Таблица 1

Обзор существующих методов определения степени черноты поверхностей различных материалов

Наименование метода	Характеристика метода	
	Сущность метода	Недостатки
Определение теплофизических характеристик тонкослойных материалов [4]	Предварительный нагрев осуществляют до заданной температуры модели абсолютно черного тела, образованного двумя идентичными параллельно расположенными плоскими образцами совместно с боковыми и внутренними секционированными экранами, путем пропускания через образцы одинаковых электрических токов, измеряют силу токов и падения напряжения в центральной зоне каждого из образцов, температуру внешней поверхности одного образца и внутренней поверхности второго образца, производят импульсное тепловое воздействие на внешнюю поверхность одного из образцов, одновременно регистрируя температуру противоположной поверхности этого же образца	<ul style="list-style-type: none"> – Сложность метода; – наличие ограничений на геометрию образцов, исследуемых с применением данного метода; – трудности обеспечения малой погрешности измерений при регистрации нестационарных температур и последующем вычислении совокупности исследуемых параметров
Определение теплофизических свойств твердых тел [5]	Образец в форме прямоугольного параллелепипеда нагревают электрическим током, измеряют мощность, выделяемую в стационарном тепловом режиме на изотермическом в осевом направлении участке образца. Измеряют температуры на поверхности параллелепипеда в серединах двух взаимно перпендикулярных граней и на расстоянии от его ребра, равном радиусу площадки визирования оптического пирометра, и по измеренным параметрам рассчитывают теплофизические характеристики	<ul style="list-style-type: none"> – Удовлетворение заданной точности измерения требует точного и дорогостоящего оборудования для измерения величины лучистого теплового потока; – необходимость учета тепловой мощности, отводимой конвекцией, повышает погрешность измерений

Окончание табл. 1

Наименование метода	Характеристика метода	
	Сущность метода	Недостатки
Измерение степени черноты твердых тел [6]	Измеряют температуры и скорости изменения температуры эталонного и исследуемого образцов, причем эталонный образец изготавливают из того же материала, что и исследуемый образец, наносят на эталонный образец покрытие с известной степенью черноты, сравнивают скорости изменения температуры эталонного и исследуемого образцов при их нагреве излучением черного тела в моменты времени, соответствующие одинаковой температуре, и определяют степень черноты	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимость замера скоростей изменения температуры образцов в строго фиксированные моменты времени, когда температуры обоих образцов одинаковы; – измерение скорости изменения обоих образцов требует дополнительного оборудования
Определение теплофизических характеристик с применением дистанционных приборов – пирометров (тепловизоров) [7]	Осуществляют нагрев исследуемого образца и регистрируют инфракрасное поле, образованное на различных сторонах образца. Для наведения оптической системы тепловизоров на образец применяют поворотные зеркала. Приборы измерения располагаются на различных расстояниях от зеркал. По данным измерений параметров ИК-поля производят расчет теплофизических характеристик	<ul style="list-style-type: none"> – Наличие влияния на показания приборов прямого и отраженного излучений фона; – наличие искажений показаний под влиянием конвективного теплообмена; – фактически эти решения основаны на регистрации суммарного ИК-излучения, поэтому данные имеют завышенные значения

По результатам проведенного анализа существующих методов исследований было принято решение о создании экспериментальной установки, которая может быть использована для точного определения степени черноты поверхности твердых тел в широком интервале температур и последующем определении температурной зависимости степени черноты с учетом особенностей физических свойств образцов.

Создание экспериментальной установки вызвано необходимостью экспериментальной проверки значений степени черноты различных материалов и определения их истинных значений, так как имеющиеся в справочной литературе данные по излучательной способности различных материалов получены при стабильном состоянии излучающей поверхности. В то же время, например, наличие окисной пленки и шероховатость поверхности сказываются на значениях степени черноты.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Методы экспериментального определения зависимости степени черноты зависят от ряда факторов, главным из которых, как было сказано выше, является температура.

В данной статье рассматривается метод определения степени черноты различных металлов, основанный на составлении балансовых соотношений [8, 9].

Считая, что система «излучатель 5 – пластина 4 – среда» (рис. 1) находится в тепловом равновесии, уравнение баланса энергии для этой системы запишется в виде

$$\varepsilon_{\text{пр}_{5-4'}} C_0 \left[\left(\frac{T_5}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_4}{100} \right)^4 \right] = \varepsilon_{\text{пр}_{4-\text{среда}}} C_0 \left[\left(\frac{T_4}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ср}}}{100} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}_{5-4'}}$ – приведенная степень черноты системы «излучатель 5 – нижняя часть мембраны 4»;
 $\varepsilon_{\text{пр}_{4-\text{среда}}}$ – приведенная степень черноты системы «исследуемая поверхность – окружающая среда».

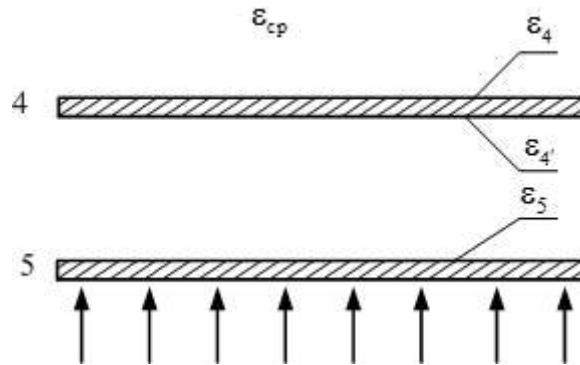


Рис. 1. Схема системы «мембраны 4, 5 – среда»

Мембрана 4 очень тонкая, поэтому ее термическое сопротивление теплопроводности (δ/λ) исчезающе мало, что позволяет с достаточной степенью достоверности считать, что температуры T_4 и $T_{4'}$ практически равны ($T_4 \approx T_{4'}$). Приведенные коэффициенты излучения рассчитываются по уравнениям:

$$\varepsilon_{\text{пр}_{5-4'}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_5} + \frac{1}{\varepsilon_{4'}} - 1};$$

$$\varepsilon_{\text{пр}_{4-\text{среда}}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_4} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{ср}}} - 1}.$$

Поверхность излучения 5 и внутренняя поверхность мембраны 4 покрыты ламповой сажей, что позволяет с достаточной степенью точности считать, что $\varepsilon_5 = \varepsilon_4 \approx 1$ и $\varepsilon_{\text{пр}_{4-5}} \approx 1$.

Тогда уравнение (1) можно переписать в виде

$$\left[\left(\frac{T_5}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_4}{100} \right)^4 \right] = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_4} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{ср}}} - 1} \left[\left(\frac{T_4}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ср}}}{100} \right)^4 \right]. \quad (2)$$

Если допустить, что $\varepsilon_{\text{ср}} \approx 1$ (т.е. среда обладает свойствами абсолютно черного тела), то ε_4 можно рассчитать по формуле

$$\varepsilon_4 = \frac{\left(\frac{T_5}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_4}{100} \right)^4}{\left(\frac{T_4}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ср}}}{100} \right)^4}. \quad (3)$$

На рис. 2 показана схема экспериментальной установки, предназначенной для этой цели.

Установка содержит шесть экспериментальных модулей, каждый из которых состоит из двух коаксиальных цилиндров, между которыми находится теплоизолятор; нагревателя, пульта управления и измерительного прибора. В состав установки входит также вакуумная система.

Модули смонтированы под стеклянным колпаком 1, из-под которого выкачивается воздух, что позволяет устранять или хотя бы ослаблять влияние свободной конвекции на точность эксперимента. Стаканы 3 имеют полированную внутреннюю поверхность, наружная – теплоизолирована. В этих стаканах смонтированы тонкие мембраны 4 и 5, теплоизолированные от стенок, а также термопары 6 и 7, позволяющие измерять температуру мембран 4 и 5. В качестве нагревателя используются электрические лампочки 8, являющиеся источником лучистой энергии.

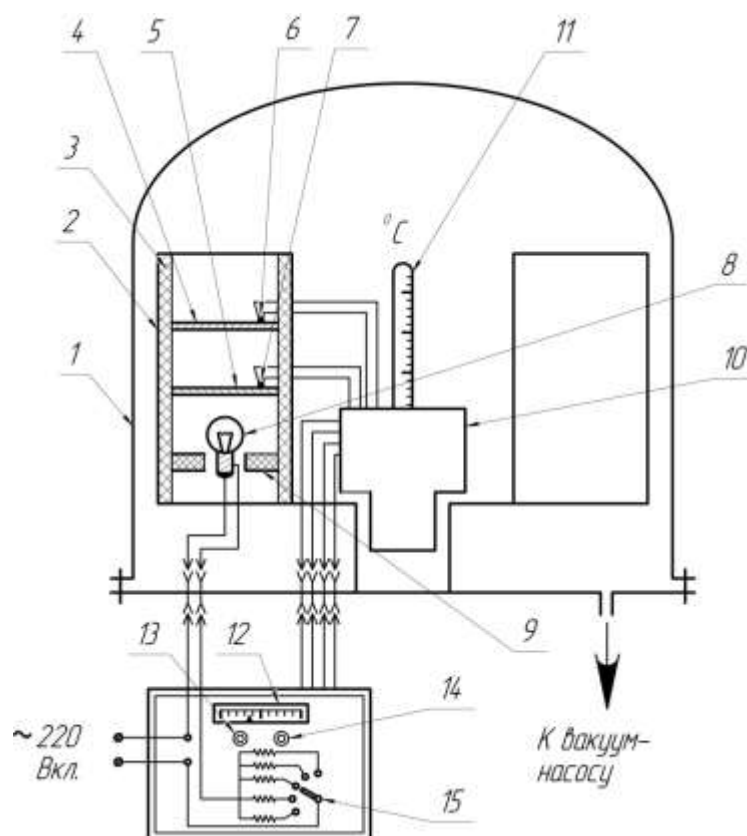


Рис. 2. Принципиальная схема установки для изучения теплопередачи излучением

Холодные концы термопар 6 и 7 помещены в термостат 10, температура в котором измеряется термометром 11. Рабочие концы термопар 6 и 7 через компенсационные провода подключены к логометру 12 через переключатели 13 и 14.

Питание электрической лампочки 8 и регулирование мощности лучистого потока с помощью реостата 15 осуществляются с пульта управления. Мембраны 4 и 5 выполнены из фольги разных металлов толщиной 150–170 мкм, что обеспечивает достаточно быстрый выход установки на стационарный режим. Обе поверхности мембраны 5 (излучателя) и нижняя поверхность мембраны 4 покрыты слоем ламповой сажи.

При включении электрической лампочки 8 мембрана 5 (излучатель) через 5–10 с принимает некоторую равновесную температуру. Температура излучателя 5 может изменяться за счет накала лампочки 8 реостатом 15 и контролироваться с помощью термопары 7.

Мембраны 4 в цилиндрах 1–5 выполнены из различных металлов, а шестая пластина является абсолютно черным телом.

Мембраны 4 и 5 расположены на малом расстоянии друг от друга, что практически устраняет влияние концевых эффектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Установка позволяет выполнять эксперименты, по результатам которых строятся графики зависимости $\varepsilon = \varepsilon(T)$ для различных материалов. Степень черноты исследуемой поверхности 4 можно определить, если известны температуры T_4 и T_5 , температура среды $T_{\text{ср}}$, в которую происходит излучение, а также коэффициенты излучения верхней поверхности излучателя и нижней мембраны 4.

Последовательность выполнения эксперимента:

1. С помощью реостата 15 и лампочки 8 устанавливается определенная температура излучателя 5 (первое положение переключателя режимов).

2. После установления радиационного равновесия замеряются температуры мембраны 4 – T_4 , излучателя 5 – T_5 и окружающей среды – $T_{\text{ос}}$.

3. Изменением положения переключателя режимов задается следующий режим и производятся те же самые замеры. Всего необходимо произвести 5 режимов.

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований зависимости степени черноты нержавеющей стали, латуни и меди от температуры. Полученные данные не противоречат сведениям, приведенным в [1–5], и позволяют их уточнить.

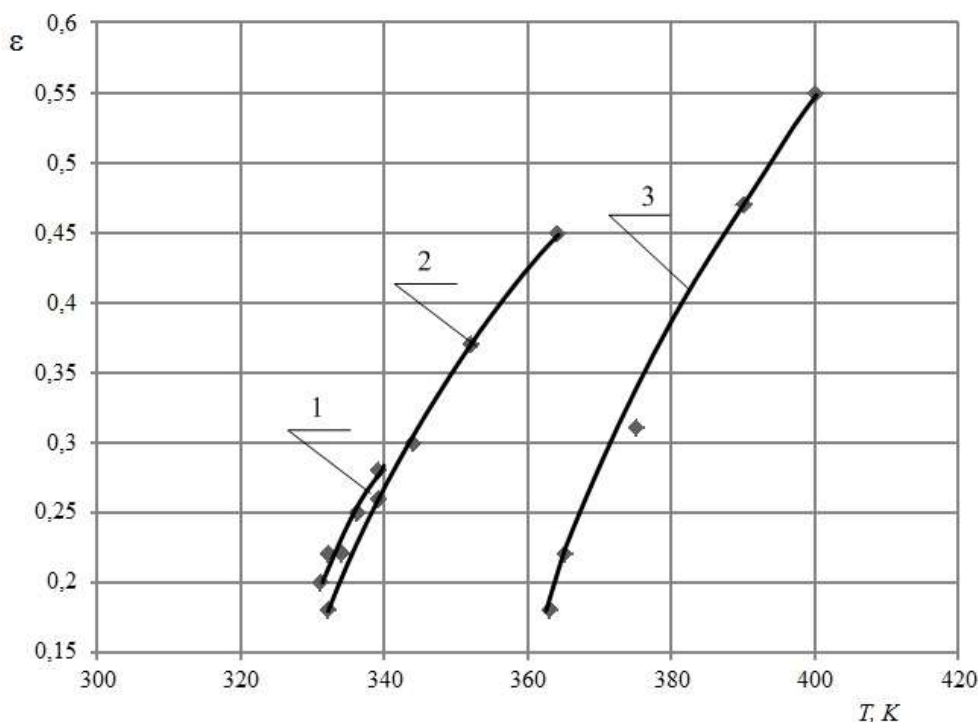


Рис. 3. Графическая зависимость $\varepsilon = \varepsilon(T)$:
1 – нержавеющая сталь; 2 – медь; 3 – латунь

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье изложен способ определения степени черноты различных материалов, основанный на составлении балансовых соотношений для излучаемой энергии разными пластинами. Созданная экспериментальная установка позволяет экспериментально проверить значения

степени черноты различных материалов и определить их истинные значения, в том числе при наличии окисной пленки и различной шероховатости поверхности, что сказывается на значениях степени черноты.

Созданная установка дает возможность выполнять эксперименты одновременно на шести поверхностях различных материалов, по результатам которых рассчитывается интегральная степень черноты каждой поверхности и строятся графики зависимости $\varepsilon = \varepsilon(T)$. Степень черноты исследуемой поверхности можно определить, если известны ее температуры и температура среды, в которую идет излучение. Эти обстоятельства необходимо учитывать при проектировании устройств для отвода тепла в космосе, где тепловое излучение является основным видом теплообмена.

Достоинствами установки являются:

1. Использование вакуумной камеры позволяет не учитывать тепловую мощность, отводимую конвекцией, что повышает точность измерений.
2. Измерения осуществляют на стационарном режиме, так как при регистрации нестационарных температур возникают трудности обеспечения малой погрешности измерений.
3. Возможность одновременного испытания до шести образцов при одинаковых условиях теплового нагружения.

Список используемых источников

1. Теплотехника: учебник для вузов / под ред. А.М. Архарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 712 с.
2. Экспериментальное определение интегральной степени черноты сверхтонких жидких композиционных теплоизолирующих покрытий / М.В. Анисимов, Д.В. Лычагин, В.С. Рекунов и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 5. – С. 106–115.
3. Хисматуллин Р.Ф. Состояние исследований в области измерений излучательной способности металлов // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 2 (20). – С. 1–5.
4. Пат. Рос. Федерация. Способ и устройство для определения теплофизических характеристик тонкослойных материалов. – № 2132549; заявл. 14.01.1997; опубл. 25.03.1999, Бюл. № 3. – 10 с.
5. Пат. Рос. Федерация. Способ определения теплофизических свойств твердых тел. – № 1766172; заявл. 14.09.1989; опубл. 09.07.1990, Бюл. № 8. – 7 с.
6. Пат. Рос. Федерация. Способ измерения степени черноты твердых тел. – № 770333; заявл. 19.05.1978; опубл. 31.05.1979, Бюл. № 12. – 15 с.
7. Пат. Рос. Федерация. Способ определения теплофизических характеристик материалов. – № 2224245; заявл. 02.04.2002; опубл. 20.02.2004, Бюл. № 12. – 4 с.
8. Термодинамика и теплопередача: учебник / А.В. Хорошавин, Л.А. Сырцов, М.М. Пеньков и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – 448 с.
9. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче: учеб. пособие / В.Н. Афанасьев, А.А. Афонин, С.И. Исаев и др. – М.: Высш. шк., 1988. – 216 с.

С.В. Слатов,
И.А. Трофимов,
кандидат техн. наук

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

В публикации рассматриваются периодические режимы в нелинейных системах, применение их в акселерометрах системы управления движением космического аппарата. Найдены условия существования периодических режимов для систем второго порядка.

Ключевые слова: акселерометр, система управления движением, периодический режим.

ВВЕДЕНИЕ

С момента появления инерциальных датчиков в начале 1920-х годов в наведении, навигации и управлении стали преобладать электромеханические инерциальные датчики. Однако в настоящее время благодаря новым технологиям созданы другие виды датчиков, оспаривающих, причем успешно, это преобладание. Например, кольцевой лазерный гироскоп, изобретенный в 1960-х, заменил электромеханические приборы во многих областях к концу 1980-х – началу 1990-х годов.

На раннем этапе движущей силой введения новых технологий была необходимость повышения точности и надежности. В последние 40 лет основным мотивом стала необходимость достижения той же точности за меньшую цену. Сегодня новые технологии датчиков продолжают развиваться в целях удовлетворения будущих потребностей рынка в системах наведения и навигации, ранее считавшихся неосуществимыми. Эти новые и развивающиеся технологии если и позволяют, то незначительно, улучшить точностные характеристики, но ориентируются на низкую стоимость обслуживания в эксплуатации, малый размер, невысокую стоимость изготовления и большие объемы производства.

Другим фактором, оказавшим важное влияние на развитие инерциальных датчиков, явился прогресс систем внешней коррекции. Чтобы обеспечить необходимую точность управления полетом, обычно требуется внешняя коррекция инерциальных систем (например, от доплеровского датчика, астроориентатора, координатора цели или от GPS), так как она позволяет исключить дрейф инерциальных датчиков и дает возможность использовать менее точные и, следовательно, менее дорогие инерциальные датчики. Благодаря относительно низкой стоимости и широкой области применения GPS наилучшим образом подходит для коррекции инерциальной навигационной системы (ИНС). Фактически для маломаневренного объекта с непрерывным доступом к сигналу GPS для навигации достаточно наличие только GPS. В свою очередь, непреднамеренные помехи (например, блокировка зданиями или деревьями) и ионосферные задержки, а также потребность в широкой полосе пропускания и высокой скорости поступления информации об угловой скорости и ускорении (особенно когда GPS умышленно заглушается) означают постоянную потребность в ИНС. Необходимость сохранения разумного уровня цен при комплексировании ИНС и GPS требует разработки как можно более дешевых инерциальных датчиков. Одновременно необходимо повышать их точность и понижать уровень шума, чтобы они могли выполнять свои задачи при отсутствии GPS.

В настоящее время ведутся исследования по уменьшению инструментальной составляющей акселерометров. Существуют два приоритетных направления работ. В первом идут по пути увеличения точности изготовления прибора, уменьшения влияния отклонений парамет-

ров отдельных частей на характеристики. Такой подход заключается в разработке новых технологий по изготовлению существующих типов акселерометров, а также исследованию новых принципов измерения ускорений. Во втором уменьшение инструментальной погрешности акселерометров достигается за счет изменения принципов работы существующих типов акселерометров. Это позволяет убирать некоторые составляющие инструментальной погрешности. В ряде работ [1, 2] рассматривается метод введения чувствительного элемента в режим автоколебаний посредством ввода в цепь обратной связи акселерометра нелинейного звена (гистерезисного типа).

При таком способе построения в измерителе возбуждаются автоколебания чувствительного элемента. В работе [3] показано, что наличие периодических колебаний приводит к линеаризации сопутствующих нелинейностей.

Наличие автоколебаний приводит к тому, что прибор приобретает свойства пространственно-временного модулятора, осуществляющего преобразование измеряемой физической величины в широтно- или частотно-модулированный электрический сигнал. При реализации такого режима работы в контуре прибора происходит динамическое уравнивание входного воздействия в среднем за период автоколебаний.

К недостаткам данного метода следует отнести зависимость периода автоколебаний от измеряемого ускорения, что приводит к значительным затруднениям при дальнейшей обработке вычислительными средствами.

В настоящей статье рассмотрен метод, позволяющий сохранить все достоинства предыдущего метода, но в значительной мере лишенный названных выше недостатков.

Суть метода заключается во введении в цепь обратной связи акселерометра широтно-импульсного модулятора и переводе его в периодический режим работы.

В работах многих ученых рассматривались системы с ненасыщенным ШИМ и уделялось внимание обеспечению устойчивости, существование периодических режимов в САУ считалось нежелательным.

Однако при организации широтно-импульсного управления возникают проблемы теоретического плана, в то время как реализация такого управления осуществляется сравнительно просто. Эти проблемы связаны с тем, что присущие системам с ШИМ существенная нелинейность и импульсный характер управляющего воздействия значительно затрудняют их анализ. Несмотря на распространенность таких систем на практике, методы их исследования гораздо менее развиты, чем методы исследования непрерывных нелинейных систем. В частности, «не работает» метод гармонической линеаризации, широко используемый при исследовании нелинейных непрерывных систем. Методы синтеза нелинейных систем (непрерывных и дискретных) практически не разработаны.

В публикации предложен новый подход по уменьшению инструментальной погрешности акселерометра и математический аппарат методики анализа ШИС.

Системы автоматического управления с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) относятся к классу импульсных или дискретных систем. Характерной особенностью последних является то, что в них управляющее воздействие на объект представляет собой временную последовательность импульсов.

Последовательность может состоять из импульсов различной формы – прямоугольных, трапецеидальных и т.п. Обычно форма импульсов остается постоянной, чаще всего она бывает прямоугольной. Поэтому, чтобы последовательность стала носителем информации, ее необходимо промоделировать. В системах с ШИМ эту функцию выполняет широтно-импульсный модулятор.

Во многих работах, посвященных системам с широтно-импульсной модуляцией, рассматривались вопросы обеспечения устойчивости, в то время как наличие периодических режимов считалось нежелательным. В данной статье рассматриваются периодические режимы в акселерометре как рабочие режимы.

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Системы с широтно-импульсной модуляцией относятся к классу нелинейных дискретных автоматических систем. Возникающие в них при определенных условиях периодические процессы или периодические режимы до некоторой степени аналогичны автоколебаниям в нелинейных непрерывных системах. Однако в отличие от последних из-за наличия квантования по времени период автоколебаний T_0 жестко связан с периодом дискретности T . При этом частота колебаний будет

$$\Omega = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{\pi}{NT}, \quad N = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где N – относительный полупериод.

При наличии периодических режимов, как и при наличии автоколебаний, осуществляется вибрационное сглаживание сопутствующих нелинейностей, что в ряде случаев приводит к улучшению качества систем.

Структурная схема системы с широтно-импульсной модуляцией представлена на рис. 1. Здесь ШИМ – широтно-импульсный модулятор; $W(p)$ – передаточная функция линейной непрерывной части;

$$e(i) = e(iT);$$

$$u(t) = \begin{cases} h \operatorname{sign} e(i) & \text{при } iT \leq t < (i + \gamma_i)T, \\ 0 & \text{при } (i + \gamma_i)T \leq t < (i + 1)T, \end{cases} \quad (2)$$

где h – амплитуда импульсов; γ_i – скважность, $\gamma_i = \gamma(iT)$, причем

$$\gamma_i = \begin{cases} \frac{1}{\beta} |e(i)| & \text{при } |e(i)| \leq \beta, \\ 1 & \text{при } |e(i)| > \beta. \end{cases} \quad (3)$$

Симметричный режим может существовать, если $g = 0$, $\gamma_i = 1$. Определим его параметры.

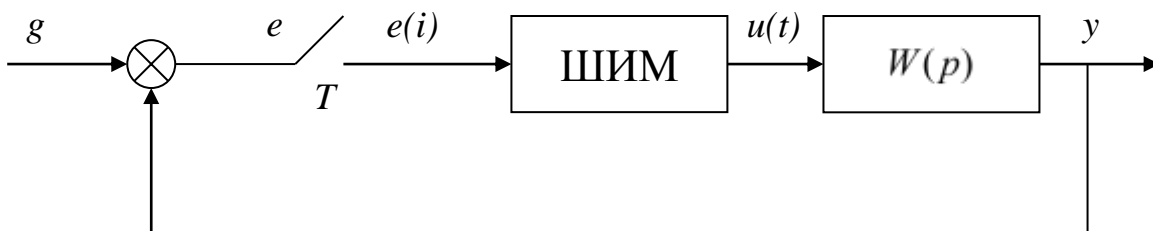


Рис. 1. Структурная схема системы с широтно-импульсной модуляцией

Модель линейной непрерывной части представляется в виде уравнений состояния:

$$\dot{\bar{x}} = A^* \bar{x} + \bar{b}u, \quad y = \bar{c}^T \bar{x}. \quad (4)$$

Уравнения состояния с линейной непрерывной частью вместе с ШИМ имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{x}(i+1) &= A^* \bar{x}(i) + h\bar{b}^*(i) \operatorname{sign} e(i), \\ y(i) &= \bar{c}^T \bar{x}(i), \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$A^* = e^{AT}, \quad \bar{b}^* = \int_{(1-\gamma_i)T}^T e^{A\sigma} \bar{b} d\sigma. \quad (6)$$

Из (5) следует:

$$\begin{aligned} \bar{x}(1) &= A^* \bar{x}(0) + h \bar{b}^* (0) \operatorname{sign} e(1), \\ \bar{x}(2) &= A^* \bar{x}(1) + h \bar{b}^* (1) \operatorname{sign} e(1) = (A^*)^2 \bar{x}(0) + h A^* \bar{b}^* (1) \operatorname{sign} e(1), \\ \dots \bar{x}(i) &= (A^*)^i \bar{x}(0) + h \sum (A^*)^{i-1-\nu} \bar{b}^* (\nu) \operatorname{sign} e(\nu). \end{aligned} \quad (7)$$

Первое слагаемое в правой части (7) представляет собой переходную составляющую. Устойчивые колебания возможны, если

$$\lim_{i \rightarrow \infty} (A^*)^i \bar{x}(0) = 0. \quad (8)$$

Нетрудно убедиться, что условие (8) выполняется, если все корни полинома знаменателя $W(p)$ имеют отрицательные вещественные части. При наличии одного нулевого корня, кроме периодической составляющей, даже при $g = 0$, появляется постоянная составляющая, величина которой зависит от начальных условий.

Второе слагаемое в правой части (7) определяет колебательный процесс. В установившемся режиме (рис. 2,а), т.е. при $i \rightarrow \infty$: $e(i+N) = -e(i)$, $\gamma_i = 1$, $\bar{b}^*(i) = \bar{b}^*$. Тогда из (7) после некоторых преобразований следует:

$$\bar{x}_r = -h \left[E + (A^*)^N \right]^{-1} \sum_{\nu=0}^{N-1} (A^*)^\nu \operatorname{sign} e(r+N-1-\nu), \quad (9)$$

$$r = 0, 1, \dots, N-1.$$

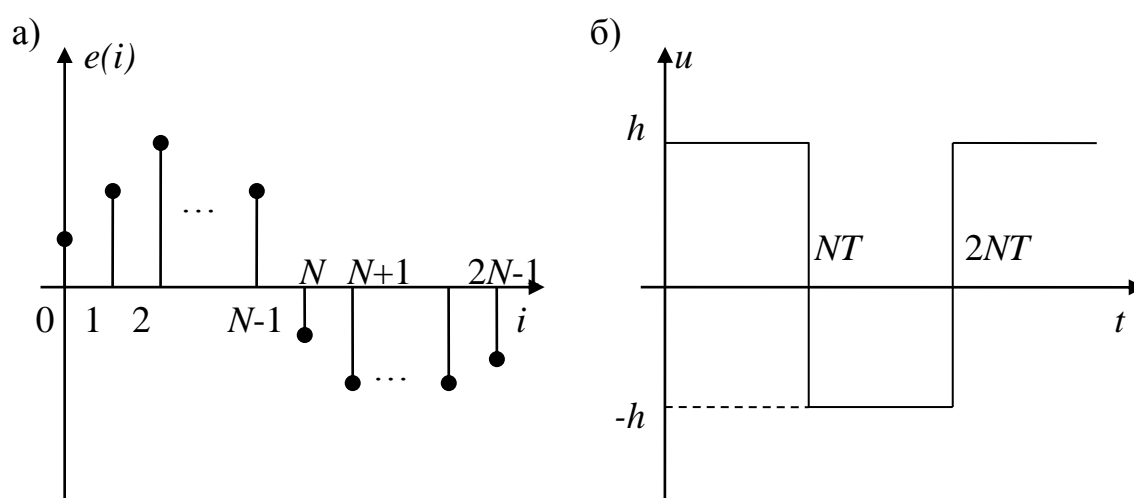


Рис. 2. Периодический режим с относительным полупериодом N

При этом ординаты последовательности на выходе системы $y_r = \bar{c}^T \bar{x}_r$, а ординаты ошибки $e_r = -y_r$.

Периодический режим с относительным полупериодом N согласно (3) и рис. 2,б существует, если

$$e_r > \beta, \quad r = 0, 1, \dots, N-1. \quad (10)$$

Если все корни полинома знаменателя простые вещественные отрицательные, т.е. $p_j = -1/T_j$, то $W(p)$ можно представить в виде

$$W(p) = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{T_j p + 1}. \quad (11)$$

Тогда матрица A^* размером $n \times n$ будет диагональной с элементами главной диагонали $d_j = e^{-T/T_j}$, элементами матрицы столбца $\bar{b}^*(i)$ будут $R_j(d_j^{1-\gamma_j} - d_j)$, а $\bar{c}^T = [11\dots 1]$.

В частности, если

$$W(p) = \frac{k}{T_1 p + 1}, \quad (12)$$

то $A^* = d = e^{-T/T_1}$, $\bar{b}^*(i) = k(d^{1-\gamma_i} - d)$, $\bar{b}^* = k(1-d)$, $\bar{c}^T = 1$, $y(i) = x(i)$.

В режиме $N = 1$ согласно (9) при $r = 0$ и $\text{sign } e(0) = 1$

$$e_0 = -x_0 = kh \frac{1-d}{1+d}. \quad (13)$$

Режим существует, если выполняется условие (10): $e_0 > \beta$.

В режиме $N = 2$ при $r = 0$ и $r = 1$, $\text{sign } e(0) = \text{sign } e(1) = 1$

$$e_0 = kh \frac{1-d^2}{1+d^2}, \quad e_1 = -kh \frac{(1-d)^2}{1+d^2}.$$

Так как $e_1 < 0$, то режим $N = 2$ в данной системе существовать не может. Нетрудно убедиться, что не существуют и режимы $N \geq 3$.

Если

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (14)$$

то в (11) $R_1 = kT_1(T_1 - T_2)^{-1}$, $R_2 = -kT_2(T_1 - T_2)^{-1}$ элементами матриц A^* и \bar{b}^* будут соответственно $d_1 = e^{-T/T_1}$, $d_2 = e^{-T/T_2}$ и $1-d_1$, $1-d_2$.

В режиме $N = 1$ согласно (11)

$$e_0 = -\bar{c}^T \bar{x}_0 = h \left[\frac{R_1(1-d_1)}{1+d_1} + \frac{R_2(1-d_2)}{1+d_2} \right]. \quad (15)$$

Режим существует, если $e_0 > \beta$.

В режиме $N = 2$

$$\begin{aligned} e_0 &= -\bar{c}^T \bar{x}_0 = h \left[\frac{R_1(1-d_1^2)}{1+d_1^2} + \frac{R_2(1-d_2^2)}{1+d_2^2} \right], \\ e_1 &= -\bar{c}^T \bar{x}_1 = -h \left[\frac{R_1(1-d_1^2)}{1+d_1^2} + \frac{R_2(1-d_2^2)}{1+d_2^2} \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

Режим существует, если $e_0 > \beta$, $e_1 > \beta$. Аналогично можно получить и режимы $N \geq 3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены варианты построения акселерометра, работающего в периодическом режиме, что приводит к уменьшению погрешности измерения ускорения.

Показаны условия существования периодических режимов для систем второго порядка.

Список используемых источников

1. Автоколебательный акселерометр / С.Ю. Балувев, М.А. Ватутин, С.И. Киреев и др. // Сборник трудов молодых ученых. – СПб.: ВИКУ, 2004.
2. Буянкин М.П., Ватутин М.А. Способы автономной коррекции параметров маятникового компенсационного акселерометра // Сборник трудов XXXII Межведомственной научно-практической конференции «Развитие научно-технических аспектов методологии испытаний и эксплуатации с целью повышения эффективности применения существующих средств и систем экспериментально-испытательной базы» (г. Мирный). – Мирный, 2016.
3. Ватутин М.А., Лучко С.В., Трофимов И.А. Периодические режимы в автоматических системах с широтно-импульсной модуляцией // Известия вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48, № 6. – СПб., 2005.

В.П. Башкирцев,
кандидат педагогических наук, доцент;
Е.В. Шалонов,
кандидат военных наук

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В ФОРМИРОВАНИИ И РАЗВИТИИ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВОЕННОГО ВУЗА

В публикации на примере подготовки научно-педагогических кадров и переподготовки специалистов в высшей военной школе рассматривается опыт организации психолого-педагогического самообразования преподавателей, впервые назначенных на должность, в период становления, формирования и развития их мастерства при реализации компетентностного подхода. Особое внимание уделяется разработке индивидуальной программы, которая бы учитывала индивидуально-психологические особенности специалиста, ориентировала самообразование, освоение педагогических компетенций, формирование личностно-деятельностных качеств, обеспечивающих профессионализм в высшей военной школе.

Ключевые слова: компетенции преподавателя высшей военной школы, реализация компетентностного подхода в высшей военной школе, программа самообразования преподавателя, профессиональное становление преподавателя, формирование и развитие мастерства преподавателя в военном вузе.

Одной из приоритетных задач российского военного образования является повышение его качества. Необходимость повышения качества обучения и воспитания слушателей и курсантов актуализирует проблему целенаправленной организации и осуществления профессиональной подготовки преподавательского состава военно-учебных заведений. Профессиональная подготовка преподавательского состава военно-учебных заведений осуществляется в адъюнктуре в ходе освоения основной образовательной программы высшего образования – программе подготовки кадров высшей квалификации, а также в системе дополнительного профессионального образования путем реализации программы профессиональной переподготовки военных специалистов для выполнения нового вида деятельности в сфере педагогики высшей школы и программы повышения квалификации педагогических работников.

Проблема профессионального становления педагогов, развития педагогического мастерства в вузе Министерства обороны Российской Федерации была и остается актуальной многие годы как для самих молодых преподавателей, их руководителей, так и для педагогической науки в целом. Центральным направлением ее решения, на наш взгляд, является разработка индивидуальной программы психолого-педагогического самообразования на период становления преподавателя, формирования и развития его педагогического мастерства, которая бы учитывала индивидуально-психологические особенности каждого, ориентировала на самопознание, освоение базовых педагогических компетенций и достижение личностно-деятельностных качеств, обеспечивающих ему высокий профессионализм преподавания в высшей военной школе.

Как известно, комплектование преподавательского состава в вузах Министерства обороны Российской Федерации осуществляется по двум направлениям [1]: первое направление – офицерами, прошедшими обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в адъюнктуре; второе – офицерами, впервые назначенными на должности преподавателей и не прошедшими обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров.

Последние в течение первого года после назначения на должность в обязательном порядке направляются на обучение по программам профессиональной переподготовки, обеспечива-

ющим получение ими компетенций, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы.

Компетенциями, актуальными для формирования педагогической направленности на этапе становления профессионала в должности преподавателя, являются:

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;
- способность планировать, осуществлять и оценивать учебно-воспитательный процесс в организациях, осуществляющих образовательную деятельность;
- способность обоснованно выбирать и эффективно использовать образовательные технологии, методы и средства обучения с целью обеспечения планируемого уровня личностного и профессионального развития обучающегося;
- способность применять фундаментальные знания военной науки, современные средства и методы обучения и управления образовательным процессом, приобретать новые знания и практический опыт, вырабатывать новые идеи;
- способность анализировать социально значимые явления и процессы, применять основные положения гуманитарных, социальных, экономических и военных наук при решении профессиональных задач в педагогической деятельности.

Исходя из требований руководящих документов [1, 2, 3], на кафедрах для молодых преподавателей разрабатывается план их профессионального становления, рассчитанный на два года. Для оказания помощи назначаются руководители из числа наиболее подготовленных преподавателей кафедры. Под общим педагогическим управлением в вузе разрабатывается единый план профессиональной переподготовки и повышения квалификации постоянного состава на календарный год и плановый период на последующие два года становления в должности преподавателя высшей военной школы.

Как показывает практика подготовки преподавателей, определенные успехи в формировании педагогического мастерства и даже карьеры военного преподавателя обуславливаются не формальным, а осознанным подходом к составлению плана на период становления на основе программы самообразования преподавателя.

Осознанный выбор профессионально-важных качеств и компетенций при индивидуальном планировании выступает ориентировочной основой деятельности начинающего преподавателя лишь при создании таких педагогических условий, как:

- возможность самопознания своих индивидуальных особенностей, влияющих на качество педагогической деятельности;
- усвоение личностных качеств педагога и их ценности для формирования личности военного специалиста (курсанта, слушателя);
- наличие образцов реализации педагогических компетенций и мастерства преподавателя;
- доступность освоения и обсуждения педагогического опыта ведущих методистов, личностно-деятельностного анализа основных форм проведения учебных занятий в военном вузе;
- возможность у начинающего педагога заблаговременного изучения возрастных и социально-психологических особенностей контингента обучающихся;
- целенаправленная подготовка к учебному занятию на основе выработки психолого-педагогического сценария его проведения и обсуждения результатов;
- систематическое изучение требований документов, определяющих качество образовательного процесса, социальный и государственный заказ.

Самоанализ на предмет недостающих начинающему преподавателю знаний, навыков и умений, выработка личностных качеств и способностей обуславливает достижение педагогом заданных компетенций на основе типовой программы психолого-педагогического самообразования и развития педагогического мастерства с учетом вышеизложенных педагогических условий и индивидуальных особенностей. Все это позволяет эффективно строить педагогам как план профессионального становления в должности, так и дальнейшую

программу развития педагогического мастерства на основе самообразования и самосовершенствования на ближайшие три-пять лет.

Основным понятием, раскрывающим самосовершенствование, является самообразование. Занимаясь самообразованием, личность переходит на более высокий уровень самоорганизации и самосовершенствования. Следовательно, основной целью педагогического самообразования является всестороннее развитие личности преподавателя для обеспечения высокого качества обучения и воспитания обучающихся.

Эффективность реализации компетентностного подхода в формировании и развитии педагогического мастерства преподавателя военного вуза, как показывает опыт организации психолого-педагогического самообразования преподавателей, впервые назначенных на должность, обусловлена внедрением в самообразование педагогов следующих принципов [4].

Выработка установки на самообразование. Этот принцип является ведущим в организации педагогического самообразования. Установка выступает в качестве основы управления механизмами самообразования конкретного преподавателя.

Формирование привычки проведения педагогического самоанализа. Постоянный анализ своей психолого-педагогической компетентности в решении профессиональных задач в военном вузе, выявление всего, что требует совершенствования личностных качеств, обеспечивают объективность, устойчивую мотивацию.

На основе педагогического самоанализа, самооценки и оценки профессиональной деятельности и личностных качеств преподаватель конкретизирует цель и задачи самообразования на очередной период развития, разрабатывает его содержание, уточняет методы и адекватные техники самообразования.

Планирование самообразования. Данный принцип предусматривает учет бюджетного времени, условий деятельности педагога, последовательности изучения проблем, выявленных на основе педагогического самоанализа, сосредоточивания усилий на решение приоритетных задач.

Комплексность самообразования. Занятия самообразованием в ходе реализации компетентностного подхода должны организовываться в единой системе с совершенствованием знаний и умений в области предметной, научно-исследовательской, воспитательной деятельности, постоянно и независимо от стажа педагогической деятельности, способностью сочетаться с профессиональными ценностями и психолого-педагогической моделью личностных качеств преподавателя военного вуза.

Контроль и самоконтроль самообразования. Этот принцип необходим для получения информации о качественном состоянии самообразовательной работы и ее эффективности. Преподаватели с уже сформированной установкой на самообразование не нуждаются в таких «внешних» формах контроля, как отчеты о самообразовании на заседаниях предметно-методических комиссий, совещаниях и т. п. Вместе с тем наличие постоянного контроля выступает для определенной части преподавателей (с несформированной профессиональной установкой) основным стимулом самообразования.

Основными задачами самообразования педагога и развития педагогического мастерства, стоящими в центре внимания на протяжении длительного периода, являются:

- 1) самопознание индивидуально-психологических особенностей в различных педагогических ситуациях;
- 2) формирование и поддержание в активном состоянии установки на самообразование, развитие личностных и деятельных качеств;
- 3) разработка методики педагогического самоанализа и изучения педагогического опыта с целью определения преподавателем конкретного содержания самообразования и самовоспитания;
- 4) оптимизация условий самообразования педагогов и подготовки к различным формам учебных занятий;

5) разработка программы профессионально-педагогического самосовершенствования с учетом изменений психологии современного курсанта (слушателя) и новых руководящих требований по планированию и организации учебной, методической и воспитательной работы.

Примерная программа психолого-педагогического самообразования в ходе профессионального становления и развития педагогического мастерства преподавателя военного учебного заведения приводится в форме типовой структуры и основных компонентов. Установка слушателям на разработку программы осуществляется в самом начале обучения адъюнктов в системе подготовки научно-педагогических кадров и переподготовки офицеров, впервые назначенных на должность преподавателя. Предложенная слушателям форма индивидуальной программы насыщается по мере усвоения новых учебных тем и дисциплин параллельно с практическими занятиями, предусмотренными для развития определенных навыков и умений, необходимых будущему педагогу для реализации функций военно-педагогического процесса по обучению, воспитанию, развитию и психологической подготовке курсантов. Практические занятия проводятся в игровой форме, слушатели участвуют в анализе и дальнейшей коррекции программы.

Опыт ее реализации в 2003–2018 гг. в ходе подготовки научно-педагогических кадров в адъюнктуре и впервые назначенных на должности преподавателей по программам профессиональной переподготовки ВКА имени А.Ф. Можайского позволяет выделить следующие наиболее эффективные методы реализации типичной программы.

Самоанализ – скрытая от непосредственного наблюдения, но существенная сторона профессиональной деятельности педагога и его жизнедеятельности вообще.

Самопознание – процесс, связанный с разнообразными переживаниями, который аккумулирует эмоционально-ценностное отношение к себе, составляет самооценку личности и фактор регуляции поведения.

Самообразование выступает одновременно условием самовоспитания личности преподавателя. Необходимой предпосылкой самовоспитания, как и самообразования, также является самопознание.

Самонаблюдение помогает лучше узнать свои сильные и слабые стороны.

Преподаватель военного вуза отличается повышенной требовательностью к себе, внутренним самоконтролем, властью над самим собой, самовнушением. Самовоспитание педагога не может происходить иначе, как через самоопределение, борьбу с самим собой, со своими недостатками, а также через оптимальное развитие у себя качеств, выражающих целостную структуру и особенности педагогической деятельности.

Оптимальными условиями и факторами профессионального развития личности педагога, как показывает практика, являются:

- 1) общественное признание успехов в профессиональной деятельности;
- 2) личная заинтересованность в своем профессиональном росте (положительная установка на самообразование и педагогическое творчество);
- 3) стремление к сотрудничеству, общительность, оптимизм, инициативность, требовательность и трудолюбие, целеустремленность;
- 5) поддержка со стороны руководства и коллег, благоприятные отношения с ними;
- 6) курсы и семинары повышения профессиональной квалификации и т.п.
- 7) всесторонне продуманная индивидуальная программа психолого-педагогического самообразования на период становления и развития педагогического мастерства преподавателя.

В процессе становления профессионализма у человека формируется особый, «профессиональный» тип личности, который отличает его от другого человека, не являющегося профессионалом в данном виде деятельности, ибо составляет определенную системную организацию его психики.

Начинающему преподавателю важно учесть, что профессиональное становление с позиций системно-деятельностного подхода представляет собой не статически-неизменное, а динамическое непрерывно изменяющееся состояние педагогического профессионального развития. Профессионализм как система не может долгое время находиться в состоянии застоя. Некритично-распространяемая стагнация неизбежно приводит к деградации преподавателя, остановившегося на пути самосовершенствования. Эти особенности профессионально-педагогической деформации подробно рассматриваются отдельной проблемой.

Рассмотрим проблемы профессионального становления преподавателя ВВШ. Готовность к непрерывному профессиональному и личностному саморазвитию и самообразованию офицера-преподавателя в течение всей жизни, устойчивая мотивация приносить пользу своим трудом предопределяют проблемы его адаптации к новому виду деятельности, профессионально-педагогического становления, развития индивидуально-педагогического творчества и педагогической культуры преподавателя ВВШ.

Осознанность необходимости развития всего спектра собственных педагогических способностей как залога успешности педагогической деятельности и предупреждения вероятных ошибок, а также осмысление наиболее рациональных путей и способов самосовершенствования в интересах достижения целей учебных занятий наполняют конкретными мероприятиями план становления преподавателя и программу психолого-педагогического самообразования и достижения педагогического мастерства.

Профессиональное становление преподавателя – организованный, последовательный процесс профессионального совершенствования, в ходе которого у преподавателя развивается педагогическая направленность, формируется профессиональная компетентность, совершенствуются необходимые педагогические качества, происходит утверждение в коллективе преподавателей, приобретение авторитета у курсантов (слушателей), вырабатывается личная система педагогической деятельности.

Готовность к педагогической деятельности (подготовительный этап) начинает формироваться еще в период обучения в школе, затем в процессе обучения в первичном вузе, в ходе реализации педагогических задач служебной деятельности в войсках, академиях и других военных вузах. Творческая педагогическая деятельность (основной этап становления в должности) обусловлена прежде всего адаптацией офицера к новому виду деятельности, процессами самопознания и объективного анализа имеющихся личностных качеств и способностей осуществлять педагогическую деятельность, дальнейшей самоорганизацией по самообразованию и самовоспитанию с целью развития необходимых педагогических качеств и достижения педагогического идеала.

Проблема профессионального становления педагогов и развития педагогического мастерства была и остается актуальной многие годы. Одним из эффективных путей ее решения, по опыту Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, является разработка индивидуальной программы психолого-педагогического самообразования на период становления и дальнейшего развития педагогического мастерства преподавателя, которая бы учитывала индивидуально-психологические особенности каждого, ориентировала на самопознание, освоение базовых педагогических компетенций и достижение личностно-деятельностных качеств, обеспечивающих ему высокий профессионализм в высшей военной школе.

Как показывает практика, учет индивидуальных особенностей молодого педагога позволяет более эффективно строить как план профессионального становления его в должности, так и дальнейшую программу развития педагогического мастерства на основе самосовершенствования на ближайшие три-пять лет.

Предложенная слушателям форма индивидуальной программы насыщается по мере усвоения новых учебных тем и дисциплин параллельно с практическими занятиями, предусмотренными для развития определенных навыков и умений, необходимых будущему педагогу для реализации функций военно-педагогического процесса по обучению, воспитанию развитию и психологической подготовке курсантов.

Таким образом, в академии сложилась достаточно эффективная система формирования и развития педагогического мастерства у нового пополнения преподавателей на основе разработки индивидуальной программы, которая с первых дней становления в должности ориентирует самообразование и формирование личностно-деятельностных качеств на достижение заданных компетенций. Вместе с тем постоянно возрастающий уровень требований к преподавателю военно-учебного заведения неизменно актуализирует поиск новых путей и способов психолого-педагогического самообразования и совершенствования профессорско-преподавательского состава.

Список используемых источников

1. О мерах реализации отдельных положений статьи № 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»: Приказ Министра обороны Российской Федерации от 15 сентября 2014 года № 670. – М., 2014. – 83с.
2. Об организации работы с личным составом в Вооруженных Силах Российской Федерации: Приказ Министра обороны Российской Федерации от 12 октября 2016 г. № 655. – М., 2016. – 83с
3. Примерная дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки военных специалистов для выполнения нового вида профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы: утверждено статс-секретарем заместителем МО РФ Н. Панковым от 28 февраля 2017 г. – М., 2017. – 23 с.
4. *Баширицев В.П.* Психология и педагогика высшей военной школы: учеб.-метод. пособие / под ред. В.Ф. Фатеева. – СПб : ВКА им. А.Ф. Можайского, 2003. – 251 с.

Г.А. Брякалов,
кандидат техн. наук, доцент;
М.А. Голубев,
кандидат военных наук, доцент;
Л.В. Розанова

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ВОЕННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПОРТФОЛИО ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Рассмотрен подход к созданию и использованию в образовательном процессе военно-учебных заведений системы электронного портфолио обучающихся как вариант выполнения требований федеральных государственных образовательных стандартов и нормативных правовых актов Министерства обороны Российской Федерации.

Ключевые слова: военно-учебное заведение, федеральный государственный образовательный стандарт, электронная информационно-образовательная среда, электронное портфолио обучающегося.

Информатизация образовательного процесса приводит к изменениям сущности образования и его внешних форм. В настоящий момент человек должен не только располагать определенным объемом знаний, но и уметь учиться: искать и находить нужную информацию, пользоваться различными источниками информации для решения возникающих проблем, расширять круг своих компетенций, непрерывно развивать себя в динамично меняющемся мире [1].

Совершенствование системы высшего образования подразумевает не только развитие организационных основ и содержания образования, повышения педагогического мастерства преподавателей, но и выполнение требований по условиям реализации программы подготовки выпускников образовательных организаций. Одним из таких требований в новой редакции федеральных государственных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) является наличие в образовательной организации электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС), которая должна обеспечивать:

- доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочих программах;
- формирование электронного портфолио обучающегося (ЭПО), в том числе сохранение работ обучающегося, рецензий и оценок на эти работы.

Выполнение первого пункта военно-учебными заведениями (вузами) Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ) в настоящее время исследуется и реализуется в рамках выполнения таких НИР и ОКР, как «Интеграция-М», «Эльвуз», «Паспорт», «Электрон» и «Облако». А вот выполнение второго пункта по формированию ЭПО как универсального средства определения профессиональной (военно-профессиональной) подготовленности обучающихся и в гражданских, и в военных образовательных организациях пока нормативно едиными методиками не определено. В связи с этим каждая образовательная организация самостоятельно определяет содержание и порядок ведения ЭПО. При этом они ориентируются на следующие определения понятия «портфолио»:

- портфолио (англ. *portfolio* – портфель, папка для важных дел или документов) – собрание документов, образцов работ, фотографий, дающих представление о предлагаемых возможностях, услугах фирмы или специалиста (обычно художника, архитектора, фотографа и др.) [2];

– портфолио (франц. *porter* – излагать, формировать, нести, *folio* – лист, страница) – это досье, собрание достижений, фиксация успехов [3].

Таким образом, под портфолио в большинстве случаев понимают собрание работ человека, иллюстрирующее его знания, навыки в каком-либо виде деятельности. Иными словами, портфолио представляет собой своеобразную визитную карточку, включающую совокупность сведений об обучающемся, собрание документов и образцов работ, дающих представление о его возможностях и способностях как будущего специалиста и как личности [3].

Принципы создания и структура ЭИОС вузов МО РФ определены «Требованиями к информационно-образовательной среде военной образовательной организации Министерства обороны Российской Федерации», утвержденными Министром обороны Российской Федерации 16 марта 2018 года. В соответствии с ними в личных делах переменного состава дополнительно к данным, содержащимся в типовом личном деле, должна присутствовать в том числе характеристика деятельности и личных достижений обучающегося с визуализацией презентационных материалов (фото, видео), полученных грантов, дипломов, грамот, медалей по всем направлениям профессиональной деятельности. Сбор таких сведений возможен только на единой платформе, создаваемой в рамках ЭИОС вуза, в форме системы ЭПО, концентрирующей по каждому обучающемуся следующую информацию:

1) личную информацию об обучающемся: фамилия, имя, отчество, полное наименование должности согласно штату, фото, краткая биографическая справка;

2) характеристика деятельности и личных достижений обучающегося с визуализацией презентационных материалов по всем направлениям профессиональной деятельности:

– сведения о личной дисциплинированности и физической подготовленности;

– результаты освоения образовательной программы;

– результаты участия в научной деятельности, в мероприятиях воспитательной работы, в спортивно-массовых мероприятиях и соревнованиях;

– личные достижения в иных сферах деятельности.

Кроме того, ЭПО должно обеспечивать для каждого обучающегося определение итогового рейтинга в учебном подразделении за отчетный период.

Электронное портфолио должно функционировать в тесном контакте с информационно-аналитической базой данных. Обоснование требований по разработке структуры ЭПО и его базы данных (БД) основывается на том, что портфолио рассматривается как новая форма контроля и оценки достижений обучающегося, определения его характеристик, доказательство прогресса в обучении по полученным результатам, приложенным усилиям, по материализованным продуктам учебно-познавательной деятельности [1]. Очевидно, что при создании ЭПО целесообразно использовать web-технологии, а ЭПО рассматривать как web-сайт вуза. Возможная структура ЭПО показана на рис. 1.

Структура ЭПО определяет круг лиц, заполняющих и контролирующих достоверность внесенных в него сведений. К ним относятся: обучающиеся; преподаватели; командование курса и др. К их основным функциям необходимо отнести следующие:

1) обучающиеся – заполнение и ведение разделов ЭПО, в которые они могут самостоятельно вносить сведения (письменные работы, научные статьи и т.д.);

2) преподаватели – внесение в базу данных ЭПО результатов рубежного контроля, промежуточной и государственной итоговой аттестации и т.д.;

3) командование курса (начальник курса и курсовые офицеры) – внесение сведений о поощрениях и дисциплинарных взысканиях, служебные характеристики и т.д., а также контроль ведения ЭПО обучающимися (проверка достоверности вносимых сведений).

Для обеспечения работоспособности ЭПО в вузе должен быть назначен администратор системы, в чьи обязанности также включается ведение общих таблиц баз данных [списки обучающихся, специальностей (специализаций) и т.п.].

Наличие лиц, отвечающих за ведение ЭПО, обуславливает требования к разграничению их полномочий в работе с разделами и БД ЭПО.



Рис. 1. Структура электронного портфолио обучающегося

Основными принципами разработки ЭПО, как и большинства электронных систем, являются [1]:

- 1) функциональность – наличие определенного набора функций разного уровня;
- 2) надежность – защита от внешних воздействий;
- 3) стабильная работа – устойчивость функционирования по отношению к различным режимам работы;
- 4) удобство использования – ЭПО должно быть понятно и обеспечивать переходы между разделами;
- 5) наличие доступа – использование технологий, основанных на ограниченном доступе;
- 6) перспективы развития – платформа ЭПО должна предполагать улучшенные версии с поддержкой современных технологий;
- 7) качественная техническая поддержка – наличие поддержки работоспособности, устранения ошибок и уязвимостей ЭПО с помощью администраторов системы.

Разработку сайта целесообразно вести с использованием языков программирования:

- 1) HTML – язык гипертекстовой разметки – стандартизированный язык разметки документов в Интернет;
- 2) CSS (англ. Cascading Style Sheets – каскадные таблицы стилей) – формальный язык описания внешнего вида документа, написанного с использованием языка разметки;
- 3) PHP (англ. PHP: Hypertext Preprocessor – препроцессор гипертекста) – скриптовый язык общего назначения, интенсивно применяемый для разработки web-приложений и создания динамических web-сайтов;
- 4) JavaScript – мультипарадигменный язык программирования, поддерживающий объектно-ориентированный, императивный и функциональный стили программирования.

PHP в совокупности с СУБД – это мощная комбинация, позволяющая существенно упростить разработку web-приложений и создавать более сложные динамические web-сайты. Благодаря интеграции языка PHP с HTML, CSS и SQL, web-сайту возможно придать оптимальный внешний вид с наименьшей затратой времени и сил. PHP позволит создать мощный динамический сайт, обладающий определенной логикой поведения. PHP также даст практически неограниченные возможности по расширению функционала сайта.

Общий алгоритм работы с ЭПО приведен на рис. 2. Начало работы с ЭПО осуществляется на соответствующей странице электронного портала вуза с идентификации пользователя. После входа пользователь имеет возможность просматривать информацию разделов ЭПО, дополнять их новыми сведениями по результатам деятельности, а при необходимости редактировать их.

Возможность перехода по разделам и подразделам ЭПО или выхода из работы с ЭПО должна обеспечиваться соответствующими панелями навигации на каждой странице ЭПО. В ходе работы все вносимые сведения сохраняются в БД ЭПО.

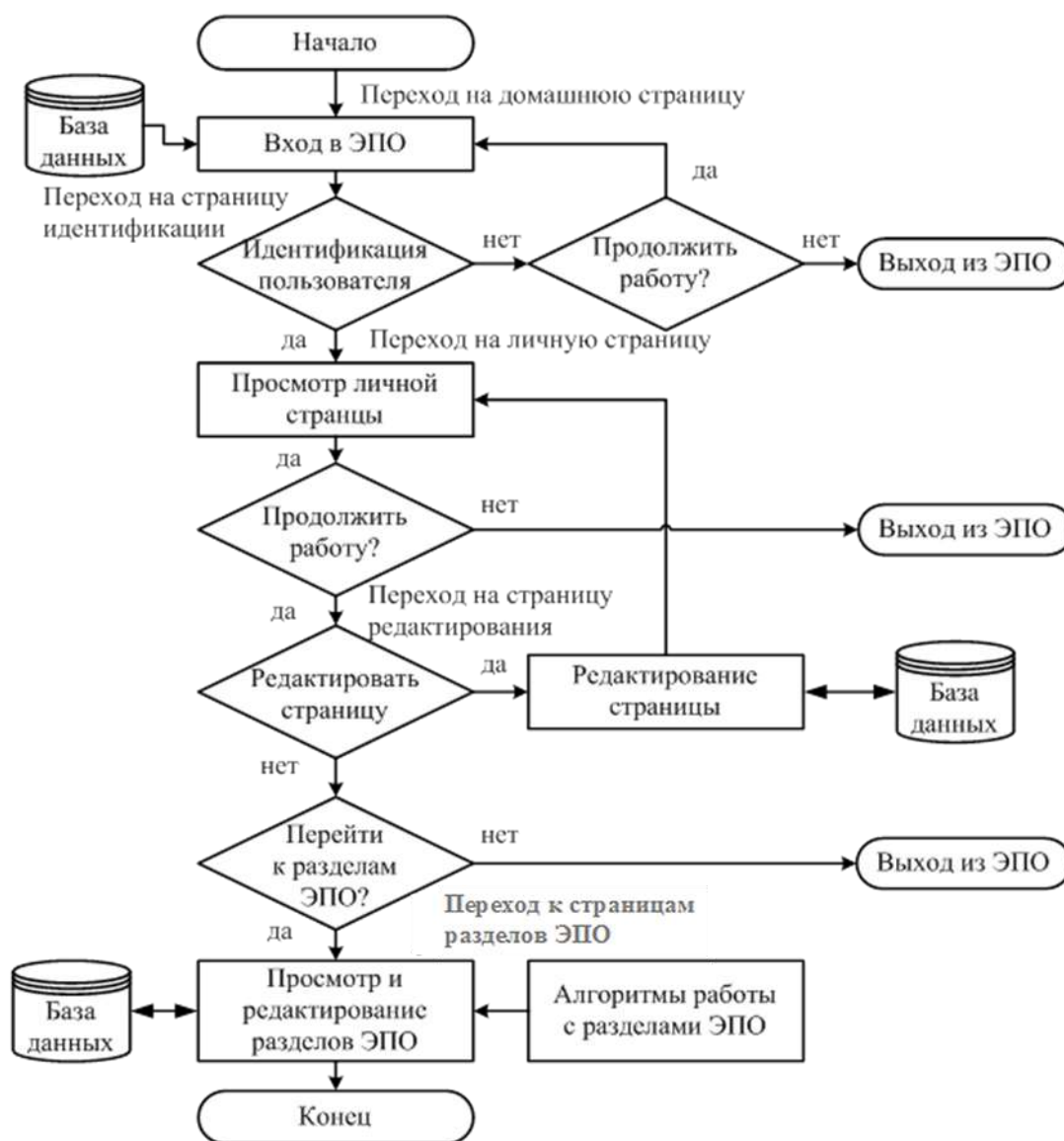


Рис. 2. Общий алгоритм работы с электронным портфолио обучающегося

Итак, всех пользователей ЭПО можно разделить на две группы. Первая группа – обучающиеся, вторая группа – преподаватели и командование курса. Обучающиеся являются основными пользователями. Они должны вносить данные фактически по всем разделам ЭПО. Преподаватели смогут вносить данные только по преподаваемым дисциплинам, а командование курса – в раздел ЭПО «Личная дисциплинированность». По остальным разделам они могут контролировать правильность и полноту внесения сведений обучающимися.

Расчет для каждого обучающегося итогового рейтинга в учебном подразделении за отчетный период в форме оценки уровня военно-профессиональной подготовленности обучающегося может быть осуществлен по критериям, определенным для каждого вида деятельности. Методика и критерии расчета указанного уровня были разработаны и апробированы в выпускной квалификационной работе выпускника 27 кафедры 2018 года ефрейтора Валиевой А.О. (научный руководитель – М.А. Голубев).

Таким образом, реализация предложенного подхода к созданию ЭПО позволит накопить и сохранить документальное подтверждение собственных достижений обучающихся в процессе обучения в академии. ЭПО, заполненное за все пять лет обучения, может быть сформировано в виде отчета и вложено в личное дело выпускника как дополнительная характеристика его военно-профессиональной подготовки в вузе.

Внедрение ЭПО является не только выполнением федеральной нормы, установленной ФГОС, требований Министра обороны Российской Федерации, но и современной эффективной формой самооценивания результатов образовательной деятельности обучающимися, способствует повышению их мотивации к образовательным достижениям и выработке умения объективно оценивать уровень своих профессиональных компетенций.

Список используемых источников

1. *Лебедева Т.Е., Охотникова Н.В., Потапова Е.А.* Электронная образовательная среда вуза: требования, возможности, опыт и перспективы использования // Мир науки. – 2016. – Том 4, № 2. – URL: <http://mir-naiki.com/PDF/57PDMN216.pdf> (дата обращения: 04.07.2018).
2. Портфолио: словарь бизнес-терминов. – URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/business/18172>. (дата обращения: 04.07.2018).
3. *Кубракова О.Н.* Портфолио студента. – URL: http://www.utgt73.ru/uploads/kubrakova/Portfolio_studentov.pdf (дата обращения: 07.07.2018).

И.М. Дугин,
кандидат философских наук, доцент;
Е.В. Шалонов,
кандидат военных наук

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА НРАВСТВЕННОГО ВОСПИТАНИЯ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ

Обосновывается полифункциональный характер процесса нравственного воспитания в общеобразовательных организациях Министерства обороны. Рассматриваются антропологические функции нравственного воспитания.

Ключевые слова: интегративно-нравственная целостность, предпосылки и детерминанты нравственного развития, антропологические функции нравственного воспитания, интеграционный воспитательный модуль, субъект-субъектное педагогическое взаимодействие.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития Вооруженных Сил Российской Федерации возрастает потребность в высокопрофессиональных офицерских кадрах, способных принимать ответственные управленческие решения с учетом нравственных критериев, с достоинством и честью служить Отечеству. Важная роль в ее удовлетворении принадлежит общеобразовательным организациям Министерства обороны – президентским кадетским училищам, суворовским военным, нахимовским военно-морским училищам, кадетским (морским кадетским) корпусам (далее общеобразовательная организация, училище). В структуре осуществляемого в них образовательного процесса одним из ключевых компонентов является нравственное воспитание [1].

Несмотря на то, что педагогическими коллективами училищ накоплен немалый позитивный опыт нравственного воспитания, этот воспитательный процесс требует дальнейшего совершенствования посредством обновления его содержания и повышения эффективности. Подчеркнем, что обновление содержания и повышение эффективности воспитания в системе образования рассматривается сегодня как одна из ключевых задач совершенствования воспитания подрастающего поколения в Российской Федерации [2].

Развитие педагогической теории и практики свидетельствует, что качественное решение научно-педагогической задачи такого уровня возможно лишь на основе системных изменений в педагогическом мышлении субъектов воспитательной деятельности, овладении ими новыми подходами к построению процесса нравственного воспитания.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОГРАНИЧЕННОСТЬ ТРАДИЦИОННЫХ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ И ОБЪЯСНЕНИЮ МНОГОМЕРНОСТИ НРАВСТВЕННОГО ОТНОШЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА К МИРУ

Изучение нормативно-правовой и научно-педагогической базы осуществления нравственного воспитания в общеобразовательных организациях, в том числе относящихся к ведению Министерства обороны, показало, что теоретической основой для его построения выступает деятельностный подход [3].

Между тем среди значительной части отечественных философов и психологов сегодня утвердилось представление о том, что деятельностный подход имеет свои методологические границы, за пределами которых он перестает быть плодотворным в объяснении духовного мира человека, на разных уровнях и в разных отношениях взаимодействующего с миром. «Проблема деятельности – это один из аспектов проблемы человека (взаимодействующего с миром), она охватывает основной, но не единственный уровень такого взаимодействия. Иначе говоря, деятельность может быть правильно понята лишь внутри этого взаимодействия и в соотношении с другими его уровнями. Это, например, психическое как процесс или психическая деятельность. Это, далее, общение, а также поведение не в бихевиористском смысле, а как система поступков, в которых главным является моральное содержание», – отмечает в этой связи А.В. Брушлинский [4]. Разделяя изложенную этим и другими учеными позицию, отметим, что редукция духовного мира человека к его предметной деятельности оказывается особенно «чувствительной» для понимания и объяснения многомерности нравственного отношения человека к миру.

В трудах ряда отечественных ученых обоснована принципиальная несводимость такого отношения к предметной деятельности. Так, например, С.Л. Рубинштейн, раскрывая субъектность человека, помимо познавательного, созерцательного и деятельностного отношения человека к миру вводит еще одно отношение – этическое, то есть нравственное отношение. Для Рубинштейна человек в нравственном смысле не потому субъект, что он, проявляя деятельность, взаимодействует с другим человеком. Для него существенно, чтобы при этом он относился к другому человеку как к субъекту: не использовал в своих целях, не манипулировал, проявлял бескорыстную заботу, сочувствие, внимание, участливость и другие нравственные качества [5].

В педагогическом же аспекте «деятельностная» редукция духовного мира человека в его нравственном содержании в конечном итоге приводит к «усеченному», неполному представлению об обучающемся как носителе нравственности и участнике воспитательного процесса. Обратим внимание, что неполное представление об обучающемся как носителе нравственности и участнике воспитательного процесса сохраниться, если в качестве центральной объяснительной категории использовать любую другую, помимо деятельности, философско-антропологическую категорию, раскрывающую нравственное отношение человека к миру. Такой категорией может быть – личность, ценность, культура, информация, социальная среда и другие категории, исходя из которых разрабатываются в современной педагогической науке подходы к анализу проблем нравственного воспитания. Каждая из этих категорий, спроецированная на духовный, субъективный мир человека и его нравственное отношение к миру объективному, раскрывает их лишь отчасти, в своем «фрактуре видения».

В свою очередь, неполное представление об обучающемся как носителе нравственности и участнике воспитательного процесса ограничивает возможности для обоснования современной педагогической модели нравственного воспитания.

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ КАК СУЩНОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА НРАВСТВЕННОГО ВОСПИТАНИЯ

Преодолению такой ограниченности, на наш взгляд, будет способствовать построение процесса нравственного воспитания в училищах на теоретической основе интегративно-функционального подхода, ориентированного на гуманитарную образовательную парадигму, ставящую в «центр» педагогического проектирования человека во всей полноте его связей и отношений с миром [6].

В структуру интегративно-функционального подхода входят: основополагающая идея, понятийно-категориальный аппарат и технологическая основа.

В соответствии с основополагающей идеей единым основанием для построения процесса нравственного воспитания в училищах является целостное представление об обучающемся как носителе нравственности и участнике воспитательного процесса. Реализация этой методологической установки в образовательном процессе общеобразовательной организации обеспечивает системный и гуманистический характер нравственного воспитания.

Понятийно-категориальный аппарат содержит две группы взаимосвязанных понятий. В первую группу входят понятия, целостно характеризующие обучающегося как носителя нравственности и участника воспитательного процесса: интегративно-нравственная целостность, нравственное развитие, предпосылки, детерминанты и модусы нравственного развития, структурные составляющие опыта нравственного отношения к миру, нравственная сфера. Во вторую группу – понятия, формирующие первичное наиболее общее представление о педагогической сущности нравственного воспитания: антропологические функции нравственного воспитания, субъект-субъектное взаимодействие педагогов и обучающихся, интеграционный воспитательный модуль.

Целостное понимание обучающегося как носителя нравственности и участника воспитательного процесса заключено в представлении о нем как об *интегративно-нравственной целостности*. В соответствии с таким представлением он понимается как интегративное единство природных (индивид), социальных (личность), культурных (индивидуальность) и деятельных (субъект нравственного действия) базовых антропологических характеристик. Каждая базовая антропологическая характеристика сопряжена со специфичными для нее предпосылками, детерминантами и модусами нравственного развития обучающегося, а также структурными составляющими опыта нравственного отношения обучающегося к миру. Структурными составляющими опыта нравственного отношения обучающегося к миру являются: нравственность эмпатического, эмоционально-чувственного сопереживания другому человеку; конвенциональная мораль социально-ролевого взаимодействия; нравственность индивидуального культурно-смыслового пространства; автономная мораль. В нравственной сфере обучающегося выделяются когнитивный, эмоциональный, волевой, поведенческий, коммуникативный и мотивационный компоненты.

Первичное наиболее общее понимание педагогической сущности нравственного воспитания формируется посредством разработки представления о нем как о полифункциональном процессе. По этой причине следует более обстоятельно рассмотреть антропологические функции нравственного воспитания. Антропологическими функции названы потому, что они сопряжены с базовыми антропологическими характеристиками обучающегося как носителя нравственности и участника воспитательного процесса.

Нравственно-психологическая адаптация – функция нравственного воспитания, способствующая нравственному развитию обучающегося как индивида в эмоционально-природном модусе, природными предпосылками которого являются психофизиологические особенности его нервной системы. Функция содействует формированию у обучающихся нравственности эмпатического, эмоционально-чувственного сопереживания другому человеку. Способность к эмпатии составляет эмоционально-психологическую основу воспитания у будущего военнослужащего (государственного служащего) гуманного отношения к людям. Она позволяет ему бесконфликтно «входить» в социальную группу, успешно адаптироваться в новой коммуникативной среде, выстраивать с окружающими доброжелательные, участливые отношения. При реализации функции учитывается взаимосвязь и взаимообусловленность нравственного, интеллектуального и физического развития обучающихся.

Нормативно-нравственная социализация – функция нравственного воспитания, обеспечивающая нравственное развитие обучающегося как личности. Такое развитие обучающегося осуществляется в социальном модусе, а его детерминантами являются групповые моральные нормы. Функция благоприятствует формированию у обучающихся конвенциональной морали социально-ролевого взаимодействия. Умение осуществлять социально-ролевое взаимодействие по нормам конвенциональной морали способствует: успешной интеграции

военнослужащего (государственного служащего) в современный дифференцированный социум; его успешной вертикальной и горизонтальной социальной мобильности; развитию способности осуществлять этически корректное социальное взаимодействие с представителями различных социальных групп.

Ценностно-нравственная инкультурация – функция нравственного воспитания, стимулирующая нравственное развитие обучающегося как индивидуальности в культурном модусе, детерминантами которого являются ценности духовной культуры. Функция способствует формированию у обучающихся нравственности индивидуального культурно-смыслового пространства. Расширение и обогащение такого пространства новыми жизненными смыслами создает условия для приобщения военнослужащего (государственного служащего) к миру высокой культуры, формирования в структуре его мировоззрения общечеловеческих и военно-профессиональных нравственных ценностных ориентиров.

Нравственно ориентированная субъективация – функция нравственного воспитания, поддерживающая нравственное развитие обучающегося как субъекта нравственного действия в деятельном модусе. В этом модусе нравственное развитие обучающегося осуществляется преимущественно под влиянием самодетерминации. Функция, если следовать терминологии И. Канта, способствует формированию у обучающихся автономной морали [7]. Автономная мораль проявляется в способности военнослужащего (государственного служащего) к нравственному выбору, ответственному поступку, нравственному самовоспитанию, бескорыстному служению Отечеству и в других свободно избранных формах нравственного поведения и деятельности.

Последняя из рассмотренных функций является ведущей, поскольку ее реализация в образовательном процессе в наибольшей степени способствует формированию нравственной зрелости обучающихся. Ведущая роль нравственно ориентированной субъективации в составе антропологических функций указывает на то, что *субъект-субъектное взаимодействие воспитателей и обучающихся* наиболее адекватно педагогической сути нравственного воспитания.

Представление о таких качественно-временных параметрах процесса нравственного воспитания, как непрерывность, преемственность, поступательность в методологических границах интегративно-функционального подхода координируется с понятием интеграционный воспитательный модуль. *Интеграционный воспитательный модуль* – это относительно самостоятельный по решаемым педагогическим задачам и содержанию этап нравственного воспитания обучающихся младшего подросткового, старшего подросткового, младшего юношеского возрастов. Во временных границах модулей осуществляется интеграция в образовательном процессе антропологических функций нравственного воспитания с учетом возрастных особенностей нравственного развития обучающихся.

Осмысленные в единстве понятия второй группы отражают первичное наиболее общее представление о педагогической сущности нравственного воспитания в общеобразовательных организациях МО РФ.

Нравственное воспитание в общеобразовательных организациях Министерства обороны Российской Федерации – это педагогически организованное, преимущественно субъект-субъектное взаимодействие воспитателей и обучающихся, в ходе которого создаются условия для целенаправленной поэтапной интеграции в образовательном процессе общеобразовательной организации антропологических функций нравственного воспитания.

Целенаправленная поэтапная интеграция в образовательном процессе училищ антропологических функций нравственного воспитания составляет его «технологическую основу». Уточним, что ее целенаправленность обусловлена военно-профессиональной направленностью образовательного процесса в общеобразовательных организациях Министерства обороны. Предполагается, что ее воплощение в практику воспитательной работы будет способствовать:

- наиболее полной реализации нравственно развивающего ресурса природных предпосылок, социальных, культурных, субъектных детерминант нравственного развития обучающихся;
- целостности нравственного развития обучающихся по эмоционально-природному, социальному, культурному, деятельному модусам;
- полноте формирования основных структурных составляющих опыта нравственного отношения обучающихся к миру: нравственности эмпатического, эмоционально-чувственного сопереживания другому человеку, конвенциональной морали социально-ролевого взаимодействия, нравственности индивидуального культурно-смыслового пространства, автономной морали;
- гармоничному развитию компонентов нравственной сферы обучающихся;
- формированию и развитию у обучающихся совокупности общечеловеческих и профессиональных нравственных качеств, необходимых военнослужащему (государственному служащему).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенное в статье полифункциональное видение процесса нравственного воспитания обогащает фонд педагогического знания в сфере теории и практики нравственного воспитания подрастающего поколения, углубляет представление о его педагогической сущности, расширяет методологическую базу исследования проблем нравственного воспитания в общеобразовательных организациях разного типа и ведомственной принадлежности.

Список используемых источников

1. Об утверждении порядка и организации образовательной деятельности в федеральных государственных общеобразовательных организациях, находящихся в ведении Министерства обороны Российской Федерации, и приема в указанные образовательные организации: Приказ Министра обороны Российской Федерации от 21 июля 2014 года № 515. – URL: <http://base.garant.ru/70746052/> (дата обращения: 07.02 2019).
2. Стратегия развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года. – URL: <https://rg.ru/2015/06/08/vospitanie-dok.html> (дата обращения: 02.02 2019).
3. Концепция духовно-нравственного развития и воспитания личности гражданина Российской Федерации. – URL: <http://mosmetod.ru/metodicheskoe-prostranstvo/nachalnaya-shkola/inklyuzivnoe-obrazovanie/fgos/kontseptsiya-dukhovno-nravstvennogo-razvitiya-i-vospitaniya-lichnosti-grazhdanina-rossii.html> (дата обращения: 05.02 2019).
4. Брушлинский А.В. Зона ближайшего развития и проблема субъекта деятельности // Психологический журнал. – 1994. – № 3. – С. 54–55.
5. Рубинштейн С.Л. Бытие и сознание. Человек и мир. – СПб.: Питер, 2003. – С. 512.
6. Борытко Н.М. Педагогика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М., 2007. – С. 265.
7. Кант И. Лекции по этике. – М.: Республика, 2000. – С. 283.

Р.М. Дулишкин;
М.Ю. Касавцев,
кандидат техн. наук

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СУТОЧНОГО НАРЯДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ В УСЛОВИЯХ ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Априорная оценка вопроса применения информационных технологий в процессе подготовки суточного наряда выявила отсутствие прикладного программного обеспечения и его востребованность для подготовки суточного наряда. В результате проведенного исследования была разработана программа для ЭВМ, позволяющая повысить качество подготовленности военнослужащих к несению службы в составе суточного наряда в условиях повседневной деятельности.

Ключевые слова: программа для ЭВМ, подготовка суточного наряда, повседневная деятельность, готовность военнослужащих к несению службы в наряде.

В условиях интеграции современного российского общества в глобальное информационное пространство меняется восприятие информации [6, 18], особенно у молодых людей. Перманентное увеличение объема информационного потока, ограничение времени для обработки информации потребителем (сутки) привели к изменению процесса восприятия информации потребителем. Поэтому становится актуальной задача подготовки и представления информации, сохраненной и представляемой сегодня с применением технологий «доинформационной» эры, в удобном для восприятия потребителем виде. Решение данной задачи возможно при представлении, хранении и обработке информации с применением современных информационных (компьютерных) технологий. Вооруженные силы Российской Федерации не стали исключением в этом вопросе. Важно подчеркнуть, что данная тенденция полностью идет в створе задачи, сформулированной Президентом Российской Федерации в Послании Федеральному Собранию 1 марта 2018 года, который сказал: «Нам надо формировать собственные цифровые платформы, естественно, совместимые с глобальным информационным пространством», что подчеркивает актуальность исследований по данной тематике.

Проведенный авторами анализ научных публикаций по теме статьи показал, что применение информационных технологий рассматривается различными авторами и встречается в различных областях военного дела. Отметим ряд ученых и исследователей Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, которые занимались вопросами применения информационных технологий в образовательной деятельности вуза. Так, авторы А.В. Тарасов и Е.В. Шалонов разработали методику использования учебных видеофильмов при проведении занятий по психолого-педагогической подготовке с офицерами курсового звена [21]. Основные принципы создания мультимедийной презентации для проведения лекции рассмотрели в статье [20] Н.А. Репях и А.Н. Хрустова. Также в академии исследуются вопросы применения на учебных занятиях электронных образовательных ресурсов и дидактических материалов (ЭОРДМ). Например, аспекты проектирования ЭОРДМ изучали А.Л. Прокофьева и Н.С. Яснова в работе [17], задачу разработки ЭОРДМ решали Л.А. Иноземцева и Н.С. Кужекин в статье [10], а вариант использования ЭОРДМ в процессе подготовки военных специалистов обосновали Н.В. Васильева и Н.Б. Кунтурова [4]. Кроме того, авторы И.Ю. Воронков, М.А. Голубев, Д.И. Дьяконов, О.Г. Машков в работе [5] рассмотрели применение в системе дополнительного профессионального образования системы дистанционного обучения eLearning Server 4G. Анализом подходов к исследованию сложных

социотехнических систем занимались Р.Ф. Фаттахов и О.Е. Сосин [23], в результате чего они определили основные проблемные аспекты при реализации систем «человек – машина».

Вне стен академии исследование данной тематики представляет научный интерес для многих авторов. Так, И.Ю. Лепешинский и Т.А. Лепешинская в работе [12] рассматривают основные проблемы и пути решения технизации учебно-воспитательного процесса подготовки военных специалистов на базе федеральных государственных образовательных учреждений высшего образования за счет внедрения электронных средств обучения. Авторы А.В. Ковалёв [11], А.А. Тарчишников и В.А. Валежанин [22] исследовали вопросы влияния медиаобразовательной среды на качество военно-специальной подготовки военнослужащих в инженерных вузах Минобороны и пути формирования личностно ориентированной образовательной среды военного вуза. Рассмотрением методики оценки военно-профессиональной адаптации военнослужащих по призыву занимались А.В. Пальчиков и Е.Н. Косырев [15], для более эффективного использования данной методики авторами была разработана программа для электронно-вычислительной машины (ЭВМ), позволяющая после внесения исходных данных получать командному составу рекомендации по управлению процессом адаптации каждого военнослужащего. Также Д.М. Акбашев и А.В. Столяров рассматривают разработанную ими программу для ЭВМ [1] при составлении первичной характеристики о военнослужащем, которая позволяет непосредственному командиру (начальнику) автоматизированно оценить качества кандидата на должность сержантского состава с помощью ЭВМ.

Кроме результатов исследований и разработок, приведенных выше, необходимо отметить публикации авторов в области патентного права, в которых предлагалось использовать разработанные ими программы для ЭВМ в ходе обучения военнослужащих. Так, например, В.Р. Ляпин, Ю.Г. Аношко, Ю.Г. Шарашкин и другие в заявке на изобретение [13] предлагают использовать комплекс технических средств обучения с применением ЭВМ на занятиях по боевой подготовке. Почти одновременно с ними В.Н. Соколов, Е.Д. Качаев, А.Г. Коротеев и другие [19] разработали способ и тренажер для создания комбинированной реальности при подготовке военных специалистов сухопутных войск на базе персональной ЭВМ. А исследователи В.С. Пахомов, Н.К. Полещук, И.А. Рыльцин и К.В. Тиханов [16] в полезной модели предложили повышение эффективности процессов физической подготовки военнослужащих за счет расширения области использования предлагаемого ими устройства на основе снижения технической сложности прототипа по сравнению с использованием имеющихся малогабаритных аналогов измерительных устройств с применением ЭВМ.

В области свидетельств о регистрации программ для ЭВМ существует ряд прикладных программ (написанных на языках программирования Delphi и C+), позволяющих обучать военнослужащих по различным военным специальностям. Например, созданы М.М. Зарубиным и В.Г. Любимовым [9] Электронный тренажер МП-1 ИМ, а О.А. Барабановым, В.Г. Любимовым, Д.С. Кудимовой и С.А. Мостовщиковым [3] Электронный тренажер ДКМ Р-020, которые служат для обучения специалистов связи по специальной подготовке и для самостоятельной работы военнослужащих связных специальностей по повышению уровня специальной подготовки. В работе [8] М.М. Зарубин и А.В. Звягинцев представили программу для работы на ЭВМ с целью создания тренажера по подготовке экипажа командно-штабной машины Р-142 ДА. Также А.В. Маслов [14] предложил программу для работы программного модуля имитации системы электроснабжения командно-штабной машины Р-149 МА 1, с помощью которой можно проводить обучение военнослужащих.

Однако, несмотря на широкий спектр существующих разработок по применению информационных технологий в военной сфере, задача модернизации (приведения в соответствие с современными требованиями) процесса подготовки суточного наряда осталась без внимания исследователей. Данный факт обусловил цель исследования – разработку программы для ЭВМ, позволяющей повысить качество подготовленности военнослужащих к несению службы в составе суточного наряда в условиях повседневной деятельности, и свидетельствует о

новизне полученных результатов. В свою очередь, потребность в качественном улучшении готовности военнослужащих к несению службы в суточном наряде делает актуальными проведенные исследования, которые осуществлялись при помощи методов анализа, наблюдения, опроса и тестирования.

Схема эмпирического исследования (рис. 1), проведенного авторами, структурно включает в себя четыре основных этапа: оценку априорного состояния исследуемого вопроса, основной этап работы, оценку апостериорного состояния исследуемого вопроса, выводы и рекомендации.

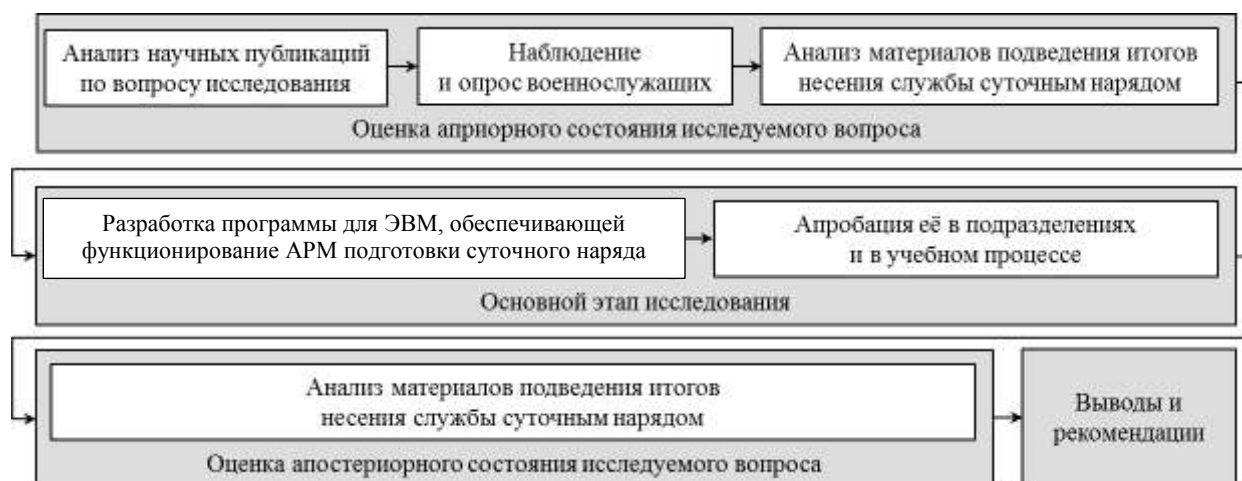


Рис. 1. Схема исследования

Таблица 1

**Результаты опроса военнослужащих для оценки уровня
востребованности программы для ЭВМ целевой аудиторией**

№	Вопросы	Ответы, %
1	Вам нравится готовиться к наряду по нескольким информационным источникам: Общевоинским уставам ВС РФ, инструкциям, образцам документов и т.п.: а) да; б) нет; в) не имеет значения	55 28 17
2	Лично для Вас было бы лучше, если подготовка к наряду проводилась с применением автоматизированного рабочего места с использованием программы для ЭВМ, позволяющей изучить необходимый для наряда объем теоретических знаний и пройти обучающее и контрольное тестирование не только перед нарядом, но и в любое удобное для Вас время: а) да; б) нет; в) не имеет значения	77 13 10
3	Вы подходили бы к несению службы в наряде более старательно и добросовестно, зная, что оценка за «теорию», полученная на ЭВМ, будет учитываться при выставлении Вам оценки за наряд: а) да; б) нет; в) не имеет значения	71 0 29

Результаты опроса, проведенного на этапе априорной оценки исследуемого вопроса (табл. 1) об уровне востребованности программы для ЭВМ целевой аудиторией (военнослужащими, привлекаемыми к несению службы в наряде), позволяют сделать следующие выводы:

– около половины военнослужащих (55%) высказались за удобство, а около трети (28%) опрошенных высказались за неудобство использования при подготовке к наряду нескольких печатных информационных источников;

– чуть более трех четвертей опрошиваемых (77%) хотели бы осуществлять изучение теоретического материала должностных лиц суточного наряда и караула с помощью ЭВМ;

– только треть респондентов индифферентна к учету оценки, полученной на ЭВМ в ходе контроля качества подготовленности должностных лиц суточного наряда и караула. Остальные (71%) воспринимают учет оценки своей подготовленности к наряду при подведении итогов несения службы как хорошую мотивацию для лиц суточного наряда.

Разработанный авторами программный комплекс автоматизированного места подготовки суточного наряда представляет собой программно-технический комплекс, включающий технические и программные средства и предназначенный для решения задач в области подготовки военнослужащего к несению службы в суточном наряде с помощью информационных запросов, создаваемых непосредственно на рабочем месте в режиме диалога с ЭВМ.



Рис. 2. Внешний вид вкладок интерфейса программного комплекса автоматизированного места подготовки суточного наряда:

а – вкладка «Главная» страница; б – вкладка «Общевойсковые уставы»

Интерфейс программы представляет собой систему связи между различными вкладками, он выполняет определенные функции в программном комплексе автоматизированного места подготовки суточного наряда:

– на странице «Главная» (рис. 2,а) пользователю предоставлена возможность ознакомиться с предназначением и функциями, реализованными в данном программном комплексе автоматизированного места подготовки суточного наряда;

а)

б)

в)

г)

Рис. 3. Внешний вид вкладок интерфейса программного комплекса автоматизированного места подготовки суточного наряда:
 а – вкладка «Тестирование/тест»; б – вкладка «Тестирование/оценка»;
 в – вкладка «Образцы документов»; г – диалоговое окно администратора

– страница «Общевоинские уставы» (рис. 2,б) служит необходимым справочником, в котором собран набор общевоинских уставов, с возможностью запроса пользователем необходимой статьи;

– страница «Тестирование» (рис. 3,а и 3,б) позволяет проверить уровень подготовки военнослужащего (по четырехбалльной шкале) по определенному виду наряда. Выбрав определенный вид теста, военнослужащему будет предложено несколько вопросов с различными вариантами ответов. По завершении тестирования военнослужащий увидит, помимо уровня подготовки, количество правильных и неправильных ответов;

– страница «Образцы документов» (рис. 3,в) включает в себя перечень образцов документов, необходимых военнослужащим в ходе несения службы.

Для работы, а также администрирования и настройки компонентов программного комплекса автоматизированного места подготовки суточного наряда не требуется дополнительного обучения. Чтобы вносить изменения, администратору достаточно знать логин и пароль от базы данных, которые вводятся в соответствующие поля диалогового окна администратора (рис. 3,г). База данных программного комплекса автоматизированного места подготовки суточного наряда реализована в табличном виде (рис. 4,а). Актуализация того или иного вопроса при настройке определенного варианта теста происходит путем «включения/выключения» вопроса, то есть присвоения вопросу значения – «1» или «0» (рис. 4,б).

+ Параметры

			id	answer	parent_question	correct_answer
<input type="checkbox"/>				1	для поддержания внутреннего порядка, охраны личност...	1 0
<input type="checkbox"/>				2	для поддержания внутреннего порядка, охраны личност...	1 1
<input type="checkbox"/>				3	для поддержания внутреннего порядка, охраны воинск...	1 0
<input type="checkbox"/>				4	за поддержание внутреннего порядка, охраны личного...	2 0
<input type="checkbox"/>				5	за сохранность оружия, ящиков с боеприпасами, имущ...	2 0
<input type="checkbox"/>				6	за выполнение распорядка дня (регламента служебн...	2 1
<input type="checkbox"/>				7	садиться, снимать снаряжение и расстегивать одежду	3 1
<input type="checkbox"/>				8	читать, есть, пить, курить, приспосабливаться к чему бы...	3 0
<input type="checkbox"/>				9	отлучаться из расположения роты без разрешения деж...	3 0
<input type="checkbox"/>				10	для выполнения распорядка дня (регламента служебн...	4 0
<input type="checkbox"/>				11	для поддержания в воинской части внутреннего поряд...	4 1
<input type="checkbox"/>				12	для поддержания внутреннего порядка, охраны личност...	4 0

а)

+ Параметры

			id	test_name	enable
<input type="checkbox"/>				1	Суточный наряд по роте 1
<input type="checkbox"/>				2	Суточный наряд по роте 1
<input type="checkbox"/>				3	Караульная служба
<input type="checkbox"/>				4	Караульная служба
<input type="checkbox"/>				5	Караульная служба

1

1

0

1

б)

Рис. 4. Вид диалогового окна мастера тестов:

а – при вводе вопросов тестов; б – при актуализации вопросов

Программный комплекс реализован на языке web-программирования PHP и с помощью СУБД PostgreSQL. Разработанные алгоритмы в программном комплексе автоматизированно-

го места подготовки суточного наряда с учетом выбранного языка web-программирования и СУБД позволяют реализовать:

- подготовку военнослужащих к несению службы в суточном наряде;
- дружественный интерфейс;
- контроль подготовленности военнослужащих к несению службы в суточном наряде;
- гибкое управление и обновление информационно-правовой базы;
- адаптацию к уровню подготовки военнослужащего;
- минимальное время ответа на запросы военнослужащего;
- возможность работы в составе вычислительной сети.

Требования к работе программного комплекса автоматизированного места подготовки суточного наряда:

- тип реализующей ЭВМ: x86, x64-совместимый персональный компьютер;
- вид и версия операционной системы: Microsoft Windows XP/7/2008;
- совместимость с такими браузерами, как Mozilla Firefox, Google Chrome, Internet Explorer.

Такой вариант реализации при необходимости позволяет быстро обновлять статьи уставов, добавлять или удалять тесты, также делает необходимым вариант для тестирования активным или наоборот. Что же касается пользователя, то для его работы за программным комплексом автоматизированного места подготовки суточного наряда достаточно открыть существующий ярлык на компьютере.

Апробация программного комплекса автоматизированного места подготовки суточного наряда проводилась в одинаковых по численности (18 человек) и равных по априорному уровню оценки за несение службы военнослужащих экспериментальной и контрольной группах в течение одного месяца. В экспериментальной группе апробация была организована посредством разработанной методики работы командира при подготовке суточного наряда применением программы для ЭВМ в условиях повседневной деятельности, то есть подготовка военнослужащих и их тестирование проводились на ЭВМ. Военнослужащие контрольной группы готовились по прежней методике. После апробации была произведена апостериорная оценка, которая проводилась посредством анализа материалов подведения итогов несения службы суточным нарядом, за критерий оценки был принят средний балл за соответствующий вид наряда. Сравнение полученных результатов с результатами априорного анализа выполнено в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение материалов подведения итогов несения службы суточным нарядом «до» и «после» применения программного комплекса автоматизированного места подготовки суточного наряда

№	Вид наряда	ЭГ ¹		КГ ²	
		«до»	«после»	«до»	«после»
1	Дежурный по курсу	3,66	4,2	3,64	3,63
2	Дневальный по роте	3,41	3,98	3,47	3,49
Средний балл за все виды нарядов		3,54	4,09	3,55	3,56

Сравнение результатов несения службы суточным нарядом в исследуемых видах наряда показывает выигрыш по среднему баллу у военнослужащих, при подготовке которых применялся программный комплекс автоматизированного места подготовки суточного наряда.

В результате проведенного исследования была разработана программа для ЭВМ – «Программный комплекс автоматизированного места подготовки суточного наряда» [7], которая

¹ ЭГ – экспериментальная группа;

² КГ – контрольная группа.

была реализована в учебном процессе кафедры организации повседневной деятельности и боевой подготовки [2], а также прошла апробацию в подразделении курсантов одного из факультетов академии.

Таким образом, использование разработанной авторами программы для ЭВМ позволяет модернизировать процесс подготовки суточного наряда в условиях повседневной деятельности и решить следующие задачи:

- повысить уровень подготовленности военнослужащих к выполнению обязанностей в составе суточного наряда;
- повысить качество организации подготовки внутреннего наряда по курсу и караула;
- совершенствовать умения и навыки командиров подразделений во время контроля уровня подготовленности личного состава к несению службы в суточном наряде.

Список используемых источников

1. Акбашев Д.М., Столяров А.В. Применение информационных технологий в военном вузе в процессе принятия кадрового решения о назначении сержантского состава // Устойчивое развитие науки и образования. – 2017. – № 6. – С. 160–168.
2. Акт о внедрении результатов научных исследований выпускной квалификационной работы сержанта Дулишкина Руслана Михайловича в учебный процесс Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского от 10.04.2018. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2018.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014613436. Электронный тренажер ДКМ Р-020 / Барабанов О.А., Любимов В.Г., Кудимова Д.С., Мостовщиков С.А. – № 2014610748, заявлено 05.02.2014; опубликовано 20.04.2014.
4. Васильева Н.В., Кунтурова Н.Б. Использование электронных образовательных ресурсов при формировании математической компетентности у будущих военных специалистов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 651. – С. 189–193.
5. eLearning Server 4G как компонент электронного обучения в системе дополнительного профессионального образования / И.Ю. Воронков, М.А. Голубев, Д.И. Дьяконов и др. // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 210–212.
6. Владимирова Т. В. Сетевые коммуникации как источник информационных угроз. – URL: <http://www.ecsocman.hse.ru/data/2011/09/20/1267451215/Vladimirova.pdf> (дата обращения: 09.02.2018).
7. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2017663179. Программный комплекс автоматизированного места подготовки суточного наряда / Дулишкин Р.М., Касавцев М.Ю., Фомин С.И. – № 2017660061; заявлено 03.10.2017; опубликовано 24.11.2017.
8. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015619166. Комплекс тренажерных средств по подготовке экипажа командно-штабной машины Р-142 ДА / Зарубин М.М., Звягинцев А.В. – № 2015615761; заявлено 29.06.2015; опубликовано 20.09.2015.
9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015618717. Электронный тренажер МП-1ИМ / Зарубин М.М., Любимов В.Г. – № 2015615857; заявлено 29.06.2015; опубликовано 20.09.2015.
10. Иноземцева Л.А., Кузнецкин Н.С. Психолого-педагогические основания визуализации учебного контента при разработке электронных дидактических материалов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2017. – Вып. 657. – С. 173–177.
11. Ковалев А.В. Влияние медиаобразовательной среды на качество Военно-специальной подготовки военнослужащих в вузах МО РФ // Научный вестник Вольского Военного института материального обеспечения. – 2015. – № 2 (36). – С. 256–258.

12. *Лепешинский И.Ю., Лепешинская Т.А.* Технизация военной подготовки электронными средствами обучения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 6. – С. 63–66.
13. Патент на изобретение № 2610725. Комплекс технических средств обучения для подготовки общевойсковых соединений в центре боевой подготовки / Ляпин В.Р., Аношко Ю.Г., Шарашкин Ю.Г. и др.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – № 2016104609; заявлено 11.02.2016; опубликовано 07.04.2017, Бюл. № 10.
14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2016618092. Программный модуль имитации системы электроснабжения КШМ Р-149 МА 1 / Маслов А.В. – № 2016615387; заявлено 26.05.2016; опубликовано 20.08.2016.
15. *Пальчиков А.В., Косырев Е.Н.* Оценка военно-профессиональной адаптации военнослужащих по призыву // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 122 (08). – С. 1–11.
16. Полезная модель № 174257. Устройство для решения задачи оценки подготовки военнослужащих к действиям в условиях водной среды / Пахомов В.С., Полещук Н.К., Рыльцин И.А., Тиханов К.В. – № 2017103589; заявлено 02.02.2017; опубликовано 09.10.2017, Бюл. № 28.
17. *Прокофьева А.Л., Яснова Н.С.* Методические основы проектирования электронных учебных курсов в процессе изучения иностранного языка в высшем военном учебном заведении // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 218–221.
18. *Смолян Г.Л.* Сетевые информационные технологии и проблемы безопасности личности. – URL: <http://www.iis.ru/events/19981130/smolyan.ru.html> (дата обращения: 07.02.2018).
19. Патент на изобретение № 2592026. Способ создания комбинированной реальности при подготовке военнослужащих сухопутных войск и тренажер для его осуществления / Соколов В.Н., Качаев Е.Д., Коротеев А.Г. и др. – № 2015104239/11; заявлено 09.02.2015; опубликовано 20.07.2016, Бюл. № 20.
20. *Репях Н.А., Хрустова А.Н.* Мультимедийная презентация на учебной лекции // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 652. – С. 226–229.
21. *Тарасов А.В., Шалонов Е.В.* Методика использования учебных видеофильмов при проведении занятий по психолого-педагогической подготовке с офицерами курсового звена Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 654. – С. 185–189.
22. *Тарчишников А.А., Валежанин В.А.* Современные информационные технологии в военном образовании. – URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/11997/1_%20.pdf?sequence=1 (дата обращения: 29.03.2017).
23. *Фаттахов Р.Ф., Сосин О.Е.* Подходы к исследованию деятельности человека в сложных технических системах // Московское научное обозрение. – 2013. – № 6. – С. 20–23.

Л.А. Иноземцева,
Н.С. Кужекин,
кандидат философских наук, профессор;
Н.А. Репях,
кандидат философских наук, доцент;
А.Н. Хрустова

ФОРМИРОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ К ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВОЕННО-УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ

В публикации рассматриваются актуальные проблемы формирования готовности к педагогической деятельности при освоении дополнительной программы профессиональной переподготовки педагогических работников, предлагаются конкретные пути и способы совершенствования профессионально-педагогической подготовки военных специалистов, назначенных на должности профессорско-преподавательского состава в академии.

Ключевые слова: готовность к педагогической деятельности, мотивационная готовность, теоретическая готовность, практическая готовность, практикум, междисциплинарный практикум, индивидуальный проект.

Одной из приоритетных задач российского военного образования является повышение его качества. Необходимость повышения качества обучения и воспитания слушателей и курсантов актуализирует проблему целенаправленной организации и осуществления профессиональной подготовки преподавательского состава военно-учебных заведений. Профессиональная подготовка преподавательского состава военно-учебных заведений осуществляется в адъюнктуре в ходе освоения основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки кадров высшей квалификации, а также в системе дополнительного профессионального образования путем реализации программы профессиональной переподготовки военных специалистов для выполнения нового вида деятельности в сфере педагогики высшей школы и программы повышения квалификации педагогических работников.

Подготовка будущих преподавателей к педагогической деятельности включает комплекс мероприятий, направленных на формирование различного вида профессиональных компетенций.

Результатом профессиональной подготовки является формирование готовности преподавателей к педагогической деятельности.

Рассмотрим проблему формирования готовности к педагогической деятельности при освоении в академии программы профессиональной переподготовки военных специалистов для выполнения нового вида профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы, так как здесь имеется значительный опыт.

Прежде всего следует отметить, что понятие «готовность к педагогической деятельности» в психолого-педагогической литературе трактуется весьма неоднозначно. Не ставя целью изложить все точки зрения, назовем лишь наиболее распространенные. Под готовностью к педагогической деятельности понимается установка (Д.Н. Узнадзе и др.); совокупность профессионально обусловленных требований к учителю (И.Ф. Исаев и др.); сложное структурное образование, система профессионально значимых качеств, мотивов, компетентности, умений (К.М. Дурай-Новакова и др.); сущностный компонент профессиональной компетентности (А.И. Мищенко и др.); результат профессиональной подготовки (В.А. Сластенин и др.) [1].

Многообразие взглядов на понимание сущности «готовности к педагогической деятельности» обуславливает большое количество подходов к структурированию ее элементов.

Поскольку реализуемая в академии дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки военных специалистов для выполнения нового вида профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы имеет целью подготовку в условиях ограниченного бюджета учебного времени вновь назначенных преподавателей к образовательной, методической и научной деятельности в образовательных организациях высшего образования Министерства обороны Российской Федерации на должностях профессорско-преподавательского состава, мы считаем достаточным требование сосредоточить внимание при формировании готовности к педагогической деятельности на трех основных структурных компонентах: мотивационной готовности, теоретической готовности, практической готовности.

Мотивационная готовность к педагогической деятельности включает систему побуждений, идеалов, ценностных ориентаций, потребностей, интересов, присущих личности педагога, и основана на понимании значимости освоения профессиональных компетенций для успешного и эффективного осуществления процесса обучения и воспитания слушателей и курсантов.

Теоретическая готовность к педагогической деятельности – это необходимый объем психолого-педагогических знаний, специальных знаний в предметной области преподаваемых учебных дисциплин, а также знаний в области военно-профессиональной подготовки.

Практическая готовность к педагогической деятельности выражается в умении педагогически действовать, способности решать профессионально-педагогические задачи. Программой профессиональной переподготовки [3] в академии предусмотрено формирование следующих умений:

- организовывать и проектировать свою профессиональную деятельность в соответствии с законодательством Российской Федерации в составе кафедрального коллектива образовательной организации высшего образования Министерства обороны Российской Федерации на основе современных достижений психолого-педагогической науки и практики, а также в конкретной предметной области;

- разрабатывать учебные программы и тематические планы изучения учебных дисциплин, курсов, модулей, планы занятий, методические и дидактические материалы, выбирать учебную и учебно-методическую литературу, рекомендовать обучающимся дополнительные источники информации, в том числе Интернет-ресурсы;

- ставить проверяемые цели как планируемые результаты образовательной деятельности и адекватно выбирать технологии, методы и средства обучения, организовывать и проводить основные виды занятий;

- реализовывать педагогическое оценивание деятельности обучающихся, включая разработку контрольно-измерительных материалов и других оценочных средств;

- обеспечивать условия для успешной деятельности, позитивной мотивации обучающихся;

- педагогически обоснованно использовать на занятиях информационно-коммуникационные технологии, современные технические средства обучения, электронные образовательные и информационные ресурсы.

Мотивационная готовность к педагогической деятельности формируется в ходе учебных занятий, системой воспитательной работы, личным примером преподавательского состава, общественной значимостью педагога и всем укладом повседневной деятельности в военно-учебном заведении.

Теоретическая и практическая подготовка к педагогической деятельности осуществляются в ходе изучения учебных дисциплин: «Нормативно-правовые основы системы образования», «Педагогическая психология», «Психология и педагогика высшей военной школы», «Технологии профессионально-ориентированного обучения», «Электронные образователь-

ные и информационные ресурсы» и «Предметная область дисциплин профильной кафедры» [2, 4, 5].

Содержание учебных дисциплин включает:

- нормативные правовые основы регулирования в сфере образования, функционирования системы военного образования;
- систему государственной регламентации образовательной деятельности;
- современные образовательные технологии профессионально-ориентированного обучения, особенности их применения и основные ожидаемые результаты;
- психолого-педагогические основы и методику применения технических средств обучения, информационно-коммуникационных технологий, электронных образовательных и информационных ресурсов;
- традиционное и инновационное содержание теории и практики обучения и воспитания, психолого-педагогические механизмы формирования личности слушателя (курсанта);
- методологические подходы к оцениванию планируемых результатов образования на основе системно-деятельностного и компетентностного подходов;
- основы эффективного педагогического общения, культуры речи и требования к публичному выступлению;
- современное состояние, перспективы и направления развития конкретной отрасли знания и предметной области, в рамках которой осуществляется профессиональная деятельность;
- назначение, состав и правила эксплуатации вооружения, военной и специальной техники, лабораторного оборудования и других элементов учебно-материальной базы кафедры;
- особенности преподавания профильной дисциплины (гуманитарной и социально-экономической, естественно-научной и математической, военно-специальной, оперативно-тактической и др.)

Используемые преподавательским составом технологии обучения, методики подготовки и проведения учебных занятий ориентированы на создание атмосферы творчества, условий, близких к реальной педагогической деятельности будущих преподавателей. Большое внимание уделяется практической подготовке обучающихся. На практических занятиях слушатели группы профессиональной переподготовки разрабатывают актуальные дидактические и методические материалы, готовят рефераты, обзоры, презентации, решают другие педагогические задачи. В этом плане значительный интерес представляет опыт преподавания учебной дисциплины «Технологии профессионально-ориентированного обучения». С целью актуализации практической направленности подготовки обучающиеся выполняют практикум, который включает разработку и обсуждение слушателями основных учебно-методических материалов: рабочей программы учебной дисциплины, фрагмента тематического плана изучения дисциплины, планов проведения занятия, текстов лекции по одной из тем дисциплины профильной кафедры, заданий на семинарские и практические занятия, оценочных материалов для проведения текущего контроля успеваемости и др. В результате каждый слушатель к окончанию обучения имеет не только навыки преподавателя по разработке основных учебно-методических материалов, но и комплект их образцов для дальнейшей профессиональной деятельности.

Оценка готовности слушателей к педагогической деятельности производится в ходе итоговой аттестации. Ее результаты показывают, что уровень сформированности профессиональных компетенций у слушателей группы профессиональной переподготовки разный. Часть слушателей осваивают компетенции в полном объеме, большая часть – в основном, а отдельные обучающиеся – частично. Последствиями проблем отдельных обучающихся являются трудности вхождения вновь назначенных преподавателей в педагогическую деятельность, низкое качество проведения занятий, разрабатываемых учебно-методических материалов. Все это выдвигает в число приоритетных задачу поиска новых возможностей

формирования готовности вновь назначенных преподавателей к педагогической деятельности в военно-учебном заведении.

Установленная нормативная трудоемкость дополнительной образовательной программы профессиональной переподготовки педагогических работников составляет 312 часов аудиторных занятий. Это значительно меньше времени, чем в ранее реализуемой в академии программе. Установленный бюджет учебного времени позволяет изучить психолого-педагогические основы предстоящей образовательной и методической деятельности, приобрести первичные умения преподавательской работы.

Что же позволит повысить готовность слушателей группы профессиональной переподготовки к педагогической деятельности? Анализ рабочих программ учебных дисциплин и тематических планов, реализуемых в академии, позволяет предложить некоторые пути совершенствования подготовки преподавательского состава к предстоящей профессиональной деятельности: необходимо усилить практическую направленность обучения; проводить занятия в обстановке, максимально приближенной к условиям педагогической деятельности, а также интенсифицировать междисциплинарные связи. В содержательном плане это возможно реализовать путем разработки и выполнения междисциплинарного практикума. Определенный опыт имеется, о нем шла речь чуть ранее. Предлагается на основе практикума по дисциплине «Технологии профессионально-ориентированного обучения» разработать междисциплинарный практикум, включающий также проблематику дисциплин «Психология и педагогика высшей военной школы», «Электронные образовательные и информационные ресурсы», «Предметная область дисциплин профильной кафедры» и объединенный единым замыслом выполнения наиболее актуальных и значимых профессионально-педагогических задач. Интенсификация междисциплинарных связей обеспечит концентрацию и более эффективное использование образовательного и методического потенциала (ресурса) кафедры подготовки и повышения квалификации педагогических работников образовательных организаций МО РФ.

Формированию готовности к педагогической деятельности способствовало бы, на наш взгляд, восстановление практики разработки и публичной защиты слушателями группы профессиональной переподготовки индивидуальных проектов.

Индивидуальный проект представляет собой работу исследовательского, учебного или научно-методического характера, содержание которой должно свидетельствовать о личном вкладе и способности обучающегося (автора) проводить самостоятельные исследования или разработку актуальных образовательных задач, используя знания и умения, полученные при изучении дисциплин дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки педагогических работников.

Индивидуальный проект может быть выполнен в виде реферата, учебно-методического пособия, учебно-наглядного пособия (плакатов, схем, стендов, макетов и т.п.), дидактических материалов для проведения учебных занятий, в том числе с использованием технических средств обучения, контрольно-оценочных материалов, программного обеспечения и других материалов.

Каким способом реализовать разработку и защиту индивидуальных проектов? Наиболее реальным является интеграция индивидуального проекта, например, в учебную дисциплину «Предметная область дисциплин профильной кафедры». Для этого требуется незначительное (в рамках прав начальника академии) перераспределение учебного времени в дисциплине между видами занятий, уточнение методических рекомендаций по изучению указанной учебной дисциплины и разработка актуальной тематики индивидуальных проектов.

В качестве варианта реализации возможно рассматривать индивидуальный проект как конечный результат выполнения учебных заданий в рамках изучаемых дисциплин.

Анализ опыта и результатов ранее разрабатываемых индивидуальных проектов показывает, что данный вид подготовки значимо влияет на формирование готовности вновь назначенных преподавателей к педагогической деятельности в военно-учебном заведении и позволяет

сделать выводы о способности слушателей оценивать роль и место актуальных знаний и умений по предмету в профессиональной деятельности, организовывать образовательную деятельность на основе современных достижений психолого-педагогической науки и практики, технологий в конкретной отрасли знания и предметной области, проектировать учебные занятия на основе системно-деятельностного и компетентностного подходов, планировать результаты образовательной деятельности и разрабатывать соответствующие контрольно-измерительные и оценочные материалы.

Таким образом, в академии сложилась достаточно эффективная система формирования готовности преподавателей, обучающихся по дополнительной образовательной программе профессиональной переподготовки педагогических работников, к педагогической деятельности. Однако возрастающий уровень требований к выпускникам военно-учебных заведений постоянно актуализирует задачу поиска новых путей, способов, мер совершенствования профессиональной подготовки военных специалистов, назначенных на должности профессорско-преподавательского состава.

Список используемых источников

1. Леженина А.А., Сокольская М.В., Примаченко Я.В. Проблемы профессиональной педагогической подготовки преподавателей технических вузов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5.
2. Педагогическая психология: учеб. пособие. / Л.А. Иноземцева, Н.А. Репях, А.Н. Хрустова и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2018. – 116 с.
3. Примерная дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки военных специалистов для выполнения нового вида профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы: утверждено статс-секретарем заместителем МО РФ Н. Панковым от 28 февраля 2017 г. – М., 2017. – 23 с.
4. Психология и педагогика высшей военной школы: учеб. пособие. / Н.А. Репях, В.П. Башкирцев, И.Ю. Воронков и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 248 с.
5. Технологии профессионально-ориентированного обучения: учеб. пособие. / И.Ю. Воронков, Н.С. Кужекин, Н.А. Репях и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – 140 с.

Б.Д. Казахов,
доктор военных наук, профессор;
Д.А. Колягин,
кандидат военных наук;
Е.В. Шалонов,
кандидат военных наук

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ У СЛУШАТЕЛЕЙ И КУРСАНТОВ ВОЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ НАВЫКОВ АНАЛИТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

В публикации предложены организационные и методические рекомендации по привитию обучающимся военных образовательных учреждений навыков аналитической работы при принятии решений.

Ключевые слова: аналитическая работа, принятие решения, логика, опора на опыт.

Важнейшим нормативным документом, определяющим содержательную сторону процесса обучения специалистов космических войск по образовательным программам магистратуры и специалитета, является федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС) по соответствующему направлению подготовки. При этом согласно федеральному закону от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [1, 2] утвержден новый ФГОС, представляющий совокупность требований, которые обязательно должны быть реализованы при обучении слушателей и курсантов. Для успешного выполнения боевых задач необходимо, чтобы выпускники в обстановке минимального информационного обеспечения и дефицита времени смогли принимать более обоснованные решения и смелее отходить от их шаблонных вариантов, увереннее действовать в сложных условиях обстановки, показывая разумную самостоятельность.

Искусство управления войсками проявляется прежде всего в принятии командиром (командующим) правильного решения на выполнение поставленной боевой задачи в складывающейся оперативно-тактической (оперативной) обстановке. В военном деле принятие решения представляется сложным творческим процессом, предусматривающим на основе результатов всесторонней оценки обстановки выбор варианта применения имеющихся в распоряжении сил и средств, при котором в большей степени становятся достижимы следующие требования:

- 1) нейтрализация сильных сторон противника и исключение возможности противостоящей стороне реализовать имеющееся превосходство;
- 2) максимальное использование слабых свойств противника и его уязвимых мест;
- 3) реализация подчиненными войсками (силами) имеющихся сильных качеств и преимуществ над противником с максимальной эффективностью;
- 4) недопущение (воспрепятствование) использования противником слабых свойств (качеств) своих войск (сил).

Вполне очевидно, что достижение вышеперечисленных требований, которые определяют степень мудрости и логической продуманности принятого решения, должно обеспечиваться в ходе всех этапов подготовки и выполнения боевой задачи. Настоящее условие определяет потребность формирования рациональных способов действий подчиненных сил (средств) на основе точных и дальновидных прогнозов развития обстановки. При этом можно констатировать, что согласно опыту войн и конфликтов второй половины XX – начала XXI веков, современный командир должен быть готов прогнозировать развитие обстановки при

отсутствии у него важной информации (в условиях неопределенности), а также при поступлении значительного объема противоречивых сведений.

Обстоятельства, перечисленные в предыдущих абзацах, обуславливают повышение значимости аналитической работы, которая в условиях противоречивости и неопределенности оперативно-тактической обстановки является мощным инструментом, позволяющим органам управления прогнозировать развитие (изменение) ситуации и оперативно адаптировать к ней действия подчиненных сил (средств).

Суть аналитической работы заключается в деятельности должностных лиц по систематизации всех имеющихся отдельных разрозненных сведений, последующему (с помощью логики, опоры на опыт и тактическую интуицию) восстановлению недостающих данных и на этой основе формированию четкого, полного и ясного представления о сложившейся ситуации. Именно данное представление (понимание) о сущности, содержании, взаимосвязи и направленности всех происходящих событий должно стать информационной основой, подлежащей оценке при выработке замысла и принятии (корректировке принятого) решения.

Крайне важно, чтобы при определении информационных элементов, подлежащих оценке, во внимание принимались те отдельные факты, которые не соответствуют или противоречат представлению о складывающейся ситуации, которое уже сформировалось у командира и офицеров штаба. В первую очередь это относится к сведениям, описывающим состав, масштаб и характер действий противника. Как правило, правильный учет и оценка именно таких сведений позволяют предугадать резкое изменение оперативно-тактической обстановки и заблаговременно принять соответствующие (превентивные) меры.

Сложность и важность аналитической работы при планировании и руководстве применением подчиненных сил (средств) обуславливают необходимость целенаправленной подготовки офицерских кадров к реализации этой управленческой функции в ходе обучения в образовательных организациях Министерства обороны. Данная направленность должна обеспечиваться тем, что в учебные программы слушателей и курсантов по оперативно-тактическим, тактическим и тактико-специальным дисциплинам должны быть включены занятия, нацеленные на формирование у обучающихся следующих способностей (навыков):

1. осуществлять анализ добываемых (собираемых) сведений (материалов), которые имеют отрывочный и противоречивый характер, и определять недостающие сведения, важные для полноценной характеристики складывающейся (прогнозируемой) тактической (оперативно-тактической) обстановки;

2. обобщать такие сведения в системе данных, позволяющей создавать (формировать) целостное представление о совокупности условий, в которых подчиненным силам (средствам) предстоит готовиться и выполнять задачи по предназначению.

Обратим внимание читателей на то обстоятельство, что, учитывая важность перечисленных выше способностей (навыков) в служебной деятельности командиров и офицеров штаба, они могут быть объединены в отдельную профессиональную компетенцию, которая должна отражаться в квалификационных требованиях к военно-профессиональной подготовке выпускников образовательных организаций Министерства обороны Российской Федерации. Предлагаемый вариант трактовки данной профессиональной компетенции – «способность организовывать и проводить аналитическую работу при принятии решения на применение подчиненных сил (средств)».

Для теоретического обучения слушателей и курсантов по основам аналитической работы необходимо в программе их подготовки предусмотреть проведение лекционных и семинарских занятий, на которых они должны изучить и понять следующие вопросы:

- сущность и целевое предназначение аналитической работы;
- принципы аналитической работы и требования, предъявляемые к ее результатам;
- подходы к классификации информации, обрабатываемой в ходе аналитической работы;
- формальные и неформальные методы обработки информации, используемые должностными лицами при аналитической работе;

– положительные и отрицательные примеры использования (игнорирования) аналитической работы командирами (командующими, военачальниками, полководцами) в ходе войн и вооруженных конфликтов.

Данные занятия (лекции и семинары) могут являться элементом таких учебных дисциплин, как: для слушателей – «История военного искусства», «Основы теории военного искусства»; «Управление войсками и служба штабов»; для курсантов – «Военная история»; «Управление подразделениями»; «Тактика общая»; «Тактика специальная (по виду ВС, роду войск)».

Умения и навыки в решении задач аналитической работы у слушателей и курсантов должны вырабатываться в ходе таких видов занятий, как групповые упражнения, командно-штабные тренировки и учения (игры), тактические (тактико-специальные) учения и занятия [3]. При этом на каждом занятии практической направленности необходимо создавать условия, предполагающие, что правильное (обоснованное, эффективное) решение может быть принято только на основе результатов глубокого и адекватного анализа имеющейся (поступившей) в учебных органах управления информации, характеризующей сложившуюся и прогнозируемую обстановку.

При подготовке вышеперечисленных видов занятий (учебных мероприятий) их руководители должны планировать и добиваться отработки учебных вопросов слушателями и курсантами в поучительной обстановке, характерной для современных условий подготовки и ведения боевых действий. Данная обстановка должна нацеливать обучаемых на принятие самостоятельных и смелых решений, основу которых составляют дерзкие и неожиданные для противника действия подчиненных сил (средств) в сложных и динамично меняющихся условиях. При этом для формирования у обучаемых навыков аналитической работы при определении сценариев (замыслов, планов) проведения мероприятий оперативной и боевой подготовки необходимо, чтобы поучительность обстановки учений (тренировок, занятий) достигалась воссозданием таких характерных черт, свойственных реальным боевым действиям, как динамичность, противоречивость и кризисность.

Как показывает опыт (успешный и неудачный) борьбы правительственных сил с террористическими группировками на территории Сирийской Арабской Республики, особое внимание при выработке навыков аналитической работы у слушателей и курсантов, как будущих командиров и офицеров штабов (органов управления), должно уделяться формированию умения работать (учитывать) с отдельными разрозненными сведениями, а также активно добывать (определять) недостающие данные с применением методов логики и тактической интуиции.

В целом для формирования навыков аналитической работы у обучающихся предлагается внедрение в процесс их подготовки следующих организационных и методических приемов при проведении групповых упражнений [прохождении тактических (тактико-специальных) задач], командно-штабных и тактических (тактико-специальных) учений.

При подготовке к проведению учений (тактических занятий) надлежит обратить внимание на то обстоятельство, что в разрабатываемые тактические задания (в том числе и на картах исходной обстановки) необходимо включать (отражать) сведения по противнику, взаимодействующим силам и другим факторам в объеме, вынуждающем обучающихся к добыванию дополнительных сведений об этих элементах обстановки (прежде всего необходимых для полноценной оценки масштаба и характера действий противника, определения мест развертывания соседей и решаемых ими задач, уточнения возможности влияния погодных и климатических условий на применение подчиненных формирований).

В последующем, при проведении занятий (тренировок, этапов учения), связанных с практической работой обучающихся по принятию решения, необходимо учить слушателей и курсантов выделять в ходе оценки обстановки три этапа, предусматривающих:

1) на первом этапе – осуществление анализа (оценки) данных, характеризующих состав, положение, боевые возможности противника, своих войск и соседей, а также особенности местности и другие важные факторы;

2) на втором этапе – формулирование аналитических выводов по всем элементам оценки обстановки и в целом;

3) на третьем этапе – определение основ замысла (решения).

При этом надлежит добиваться от обучающихся, назначенных на должности командиров и офицеров штаба, того, чтобы после изучения и анализа имеющихся фактических сведений они в обязательном порядке проводили соответствующую аналитическую работу, нацеленную:

- на формирование и представление руководителю занятия (посреднику) доклада, содержащего конкретные выводы по каждому элементу оцениваемой обстановки, имеющие важное значение для последующего принятия решения. Для вырабатывания у обучающихся данных навыков руководству учений (посредникам, руководителям занятий и тренировок) следует особое внимание обращать на недопущение «пересказывания» слушателями и курсантами сведений общей и частной обстановки, скопированных из оперативно-тактических (тактических) заданий, содержания вводных или оперативных скачков, констатации уже известных фактов, попыток упрощения выполнения поставленных задач за счет необоснованного введения недостающих (не указанных) сведений (данных) решением обучаемых. В случае допущения со стороны обучающихся таких фактов существенно снижать оценки за результаты их деятельности в ходе проводимых занятий (тренировок, учений);

- на обязательное оформление сформулированных выводов в виде соответствующих наглядных (текстовых, табличных, графических, электронно-презентационных) отчетно-аналитических документов (в том числе проектов разделов боевых документов – решений, планов, пояснительных записок, боевых распоряжений, распоряжений по видам обеспечения);

- на выработку у обучающихся глубокого понимания, что выводы, сделанные по результатам аналитической работы, должны носить практический характер. Данное понимание достигается в ходе требования от слушателей и курсантов обязательного «взаимоувязывания» сформулированных выводов с содержанием принятого решения, прежде всего с такими элементами, как направление сосредоточения основных усилий, выбранный способ действий подчиненных сил, содержание и направленность поставленных им боевых задач, порядок поддержания взаимодействия и всестороннего обеспечения [4].

На этапе учений (занятий) по розыгрышу тактических действий следует использовать план наращивания обстановки, содержащий последовательно доводимые (разнесенные во времени) частные вводные по отдельным (на первый взгляд не связанным между собой) ситуациям (событиям). Такие вводные должны являться частными составляющими комплексной вводной, ценность которой проявится только после того, как все ее элементы будут доведены до обучаемых. Окончательное доведение комплексной вводной должно обеспечивать радикальное изменение «картины происходящих событий» и вносить в развитие обстановки фактор внезапности. При этом в случае игнорирования (не принятия во внимание) обучающимися поступавших в рамках комплексной вводной разрозненных сведений своевременное принятие ими решения (адекватное реагирование), соответствующего изменившейся обстановке, было бы невозможным или крайне затруднительным.

Таким образом, включение в план наращивания обстановки комплексных вводных (доводимых до слушателей и курсантов частными и разнесенными во времени сведениями), а также отдельных разрозненных сведений, ценность и значимость которых становится очевидной только после их детального изучения и «согласования» с другими элементами обстановки, существенно мотивирует обучающихся к аналитической работе при принятии решения.

Также в план наращивания обстановки следует включать вводные (в первую очередь по действиям противника и взаимодействующих сил), отражающие отдельные события, которые не соответствуют или противоречат оценке, проведенной обучающимися ранее, и вызывают у них сомнение в том, что развитие ситуации осуществляется по спрогнозированному ими варианту(ам) сценарию(ям). Включение таких вводных в план наращивания обстановки способствует пониманию обучающимися, что оперативно-тактическая обстановка может резко меняться и они всегда должны быть готовы заблаговременно принять адаптационные меры.

Реализация предложенных в статье организационных и методических рекомендаций по привитию обучающимся военных образовательных учреждений навыков аналитической работы должна сопровождаться воспитательными воздействиями на слушателей и курсантов. Данные воздействия следует нацелить на мотивацию будущих командиров и офицеров штаба к активной и всесторонней оценке обстановки за счет вырабатывания у них глубокого убеждения, что в современных боевых действиях эффективная аналитическая работа должностных лиц органов управления является обязательным условием принятия рационального решения на применение подчиненных сил. При этом в ходе обучения следует поощрять слушателей и курсантов, склонных к применению методов аналитической работы при принятии решения, а также формировать в них уверенность, что проявленные при этом творчество и разумная инициатива всегда найдут одобрение со стороны старших командиров (начальников).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В деятельности образовательных организаций Министерства обороны Российской Федерации в качестве важнейшего направления подготовки слушателей и курсантов должна рассматриваться выработка у обучающихся устойчивых навыков (отдельной профессиональной компетенции) в осуществлении методов аналитической работы при организации действий и управлении подчиненными силами (средствами). Реализация данного направления позволит готовить офицерские кадры, способные оперативно принимать расчетливые и всесторонне обоснованные решения в условиях неопределенности и даже противоречивости имеющихся сведений о складывающейся оперативно-тактической обстановке.

По результатам заслушивания и обсуждения докладов комиссией принимается решение о правомерности получения акта реализации в ходе ИКШВИ результатов научно-исследовательской работы каждым слушателем.

Список используемых источников

1. Об образовании в Российской Федерации: федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 20.03.2018);
2. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»: Приказ МО РФ № 670 от 15.09.2014. – URL: <http://base.garant.ru/70791866/> (дата обращения: 20.03.2018);
3. Военная педагогика: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Питер, 2017. – 640 с.
4. Основы победы в бою. – МО РФ, 2017. – 42 с.

Н.Б. Кунтурова,
доктор педагогических наук, доцент;
Д.А. Мосин,
кандидат техн. наук, доцент;
Н.В. Селихина,
кандидат военных наук;
Е.В. Шалонов,
кандидат военных наук

ОЦЕНИВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ВОЕННОГО СПЕЦИАЛИСТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В статье изложен подход к оцениванию профессиональной компетентности военных специалистов, проходящих обучение по дополнительным профессиональным программам повышения квалификации, приведены расчеты коэффициента профессиональной компетентности военных специалистов по специальности «Информационно-аналитическое сопровождение летной эксплуатации орбитальных космических средств (космических аппаратов, разгонных блоков)», разработан научно-методический аппарат, который может быть использован для оперативного и достоверного оценивания профессиональной компетентности слушателей в ходе учебного процесса по любой специальности подготовки, для коротких сроков обучения и малой численности учебных групп.

Ключевые слова: компетенции, компетентность, формирование и оценивание компетентности, подготовка военных специалистов, показатели и критерии оценивания, расчеты коэффициента профессиональной компетентности.

В настоящее время с учетом современного развития системы военного образования предъявляются высокие требования к качеству подготовки военных специалистов, выпускаемых военными образовательными организациями Министерства обороны Российской Федерации, в том числе и к уровню подготовки военных специалистов, проходящих обучение по дополнительным программам повышения квалификации.

Основой образовательной деятельности по подготовке указанных военных специалистов является компетентностный подход. Компетентностный подход к обучению и оценке военных специалистов предоставляет возможность определить не только их потенциал, его направленность и сферу наиболее эффективного применения, но и уровень компетентности специалистов, который состоит из определенного набора компетенций и выработавшихся личностных качеств военного специалиста, способного к результативным действиям при решении поставленных перед ним задач [1, 2].

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского на факультете переподготовки и повышения квалификации осуществляет подготовку военных специалистов по различным специальностям, одной из которых является «Информационно-аналитическое сопровождение летной эксплуатации орбитальных космических средств (космических аппаратов, разгонных блоков)». Результатами освоения военными специалистами дополнительных профессиональных программ повышения квалификации является совершенствование компетенций, необходимых для профессиональной деятельности военных специалистов по информационно-аналитическому сопровождению летной эксплуатации орбитальных космических средств (космических аппаратов, разгонных блоков), повышение профессионального уровня, обновление и получение дополнительных теоретических знаний, а также совершенствование практических навыков по организации и выполнению мероприятий по

информационно-аналитическому сопровождению летной эксплуатации орбитальных космических средств в центрах испытания и применения космических систем, на космодромах, в научно-испытательном управлении Государственного испытательного центра имени Г.С. Титова в различных условиях обстановки [3].

В соответствии с учебным планом и программой повышения квалификации военных специалистов по информационно-аналитическому сопровождению летной эксплуатации орбитальных космических средств срок обучения составляет 1 месяц (216 часов). Учебный процесс на факультете переподготовки и повышения квалификации является управляемым и целенаправленным, включающим систему контроля.

Эффективность подготовки военных специалистов (учебного процесса), как правило, характеризуется приращением результатов за контрольный промежуток времени. При этом качество подготовки определяется уровнем достижения этих результатов по отношению к существующим нормам (в качестве которых могут выступать, например, квалификационные требования к уровню подготовки военных специалистов).

В общем случае система контроля выполняет взаимосвязанные образовательную, развивающую и воспитательную функции, она включает в себя совокупность организационных и методических приемов получения и анализа количественно-качественных показателей, характеризующих результативность подготовки (переподготовки, повышения квалификации) военных специалистов. Регулярный контроль качества подготовки повышает ответственность слушателей, влияет на организацию их деятельности, ориентирует к требованиям военного вуза, способствует выработке рационального режима самостоятельной работы, служит информационной основой для учебных и кадровых подразделений вуза по управлению образовательным процессом и прогнозированию успешности последующей деятельности военных специалистов (профессиональной компетентности), а также способствует формированию самооценки слушателей.

Так как срок переподготовки по специальности «Информационно-аналитическое сопровождение летной эксплуатации орбитальных космических средств (космических аппаратов, разгонных блоков)» в настоящее время является достаточно коротким, то возникает необходимость оперативного и достоверного контроля за ходом и качеством усвоения программы, получения слушателями знаний и умений, а также освоения заявленных в учебной программе и квалификационных требованиях компетенций, необходимых для дальнейшей профессиональной деятельности военных специалистов. При этом система контроля не должна требовать от преподавателя специальных знаний и навыков в области педагогики и психологии. Поэтому предлагаемый подход к оцениванию профессиональной компетентности военных специалистов, проходящих обучение по дополнительным профессиональным программам повышения квалификации для коротких сроков обучения и малой численности учебных групп, является актуальным и востребованным.

В основу возможного подхода к оцениванию уровня успешности подготовки за краткий период повышения квалификации может быть положен метод оценивания профессиональной компетентности, который рассматривает процесс подготовки в военном вузе как некоторую операцию, состоящую из последовательных этапов, где результаты итоговой аттестации выступают в роли показателя для контроля процесса подготовки [4, 5].

Понимая под профессиональной компетентностью слушателя комплексное явление – единство профессиональных знаний, умений, навыков и профессионального опыта, можно рассчитать меру качества, выражающую степень достижения поставленных целей с учетом совокупных затрат – коэффициент профессиональной компетентности R . Он является количественным дифференциальным показателем профессионального потенциала каждого слушателя. А по своей сути коэффициент профессиональной компетентности R является величиной, характеризующей уровень успешной профессиональной деятельности военного специалиста.

Исследуя результаты подготовки военных специалистов в группах повышения квалификации, можно рассчитать величину суммарного коэффициента профессиональной компетентности на основании полученных за период подготовки оценок за теоретические знания, умения и практические навыки, оцененные в процессе подготовки. Так как процесс подготовки протекает в системе с дискретными состояниями и непрерывным временем, то для его описания можно построить математическую модель динамического оценивания профессиональной компетентности.

Коэффициент профессиональной компетентности слушателя при данном подходе может быть рассчитан как отношение значения текущей эффективности подготовки к максимальной возможной эффективности обучения за рассматриваемый период:

$$= \frac{W_{\text{фак}}}{W_{\text{макс}}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{фак}}$ – текущая эффективность обучения за рассматриваемый период;
 $W_{\text{макс}}$ – максимальная возможная эффективность за рассматриваемый период.

Важной составляющей эффективности подготовки за период выступает коэффициент нагрузки дисциплины. Сопоставим каждому предмету, изучаемому за указанный период обучения, коэффициент нагрузки, равный отношению времени, отведенному на изучение дисциплины, к суммарному времени всех изучаемых дисциплин и выраженному в процентах при помощи формулы

$$r_i = \frac{\Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} 100\%, \quad (2)$$

где Δt_i – время в часах, отведенное на изучение дисциплины;
 n – количество дисциплин, изучаемых в рассматриваемый период (при сроке обучения 1 месяц – $\sum_{i=1}^n \Delta t_i = 216$).

Качество усвоения учебной информации g может быть оценено как произведение балла, полученного по данной дисциплине, на коэффициент нагрузки по ней.

При оценке результатов обучения слушателя по любой дисциплине он может равновероятно получить оценки 3, 4 или 5. Получение неудовлетворительной оценки в данном случае не рассматривается, так как невыполнение учебного плана и программы ведет к отчислению обучающегося. Полученные оценки можно использовать для геометрической интерпретации индивидуального процесса обучения на основе присвоения каждому слушателю соответствующего параметра g качества усвоения им учебной информации. Это позволит на основании применения метода оценивания профессиональной компетентности построить образовательную траекторию каждого слушателя и визуализировать качество процесса его подготовки за период обучения [5, 6].

Рассмотрим применение метода оценивания профессиональной компетентности для оценивания качества переподготовки по специальности «Информационно-аналитическое сопровождение летной эксплуатации орбитальных космических средств (космических аппаратов, разгонных блоков)». На первом этапе необходимо рассчитать максимальное значение параметра качества усвоения учебной информации. Для этого при расчете коэффициента нагрузки по учебной дисциплине необходимо использовать соотношение (2), а параметр качества усвоения учебной информации рассчитывать при условии получения слушателем оценки «отлично».

Полученные результаты могут быть использованы для построения модели образовательной траектории для каждого слушателя в течение рассматриваемого периода подготовки. Таким образом, для каждого слушателя строится индивидуальная модель движения к цели подготовки, использование которой позволит преподавателю оценить его результат в срав-

нении с максимально возможным результатом обучения, а также осуществить сравнение полученных результатов обучения по одной или нескольким дисциплинам профессиональной образовательной программы повышения квалификации между собой и с результатами других слушателей.

Пример расчета названного выше параметра качества усвоения учебной информации приведен в табл. 1.

Таблица 1

Вычисление максимального параметра качества усвоения учебной информации

Дисциплина	Количество часов Δt_i	Коэффициент нагрузки по учебной дисциплине, r_i	Оценка по учебной дисциплине, h	Параметр качества усвоения учебной информации $g = r * h$
1. Организация информационно-аналитического сопровождения эксплуатации орбитальных космических средств	24	0,24	5	1.2
2. Физико-технические основы применения и перспективы развития орбитальных космических средств	50	0,5	5	2,5
3. Основы анализа характеристик и моделирования функционирования орбитальных космических средств	66	0,66	5	3.3

На втором этапе необходимо вычислить параметр качества усвоения учебной информации для каждого обучающегося, основываясь на полученных оценках [6].

Фактический результат каждого слушателя можно рассчитать по следующей формуле:

$$W_{\text{фак}} = \frac{9}{5} \sum_{i=1}^3 r_{i3} + \frac{16}{5} \sum_{i=1}^3 r_{i4} + 5 \sum_{i=1}^3 r_{i5} \quad (3)$$

Максимально возможный результат при этом составит:

$$W_{\text{max}} = 5 \sum_{i=1}^3 r_i = 3,25. \quad (4)$$

Тогда коэффициент динамического оценивания профессиональной компетентности можно вычислить из выражения

$$R_i = \frac{W_{\text{фак}}}{W_{\text{max}}} = \frac{\frac{9}{5} \sum_{i=1}^3 r_{i3} + \frac{16}{5} \sum_{i=1}^3 r_{i4} + 5 \sum_{i=1}^3 r_{i5}}{3,25} 100\% \quad (5)$$

Коэффициенты профессиональной компетентности слушателей для исследуемой выборки приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Коэффициент профессиональной компетентности в группе слушателей
по специальности «Информационно-аналитическое сопровождение летной
эксплуатации орбитальных космических средств
(космических аппаратов, разгонных блоков)»**

Ф.И.О.	Дисциплина			Коэффициент профессиональной компетентности, R
	Организация информационно-аналитического сопровождения эксплуатации орбитальных космических средств	Физико-технические основы применения и перспективы развития орбитальных космических средств	Основы анализа характеристик и моделирования функционирования орбитальных космических средств	
Фи.*	5	4	5	87,3
Бе.*	5	5	5	100
Та.*	4	4	3	66,5
Ко.*	3	5	5	89,2
Ли.*	3	3	4	50,1

Получение данных результатов не занимает много времени, а их анализ позволит преподавателю оперативно проводить контроль результатов обучения. Необходимо отметить, что в качестве оценок могут выступать любые данные рубежного контроля.

В исследованиях [5] была выявлена взаимосвязь между коэффициентом профессиональной компетентности слушателя по виду деятельности, вычисленным на основании результатов процесса его обучения в военном вузе [и/или по результатам выполнения профессиональных (служебных) обязанностей, например, при оценивании результатов профессионально-должностной подготовки] и коэффициентом профессиональной компетентности, полученным в результате обучения на факультете переподготовки и повышения квалификации и характеризующим продуктивность решения специалистом профессиональных задач.

При анализе результатов обучения отмечается возрастание коэффициента после обучения военных специалистов на факультете переподготовки по специальности «Информационно-аналитическое сопровождение летной эксплуатации орбитальных космических средств (космических аппаратов, разгонных блоков)», зная результаты обучения слушателей по данному виду деятельности в период обучения их в вузе (инженерно-техническая деятельность в ФГОС и КТ) можно сравнить их результаты обучения на факультете переподготовки и величины вычисленных коэффициентов компетентности (табл. 3).

Слушателей на основании расчета R можно разделить по характеру успешности на группы (высококомпетентные с $75 < R \leq 100$ и средне компетентные с $50 < R \leq 75$).

Так как отбор слушателей при направлении на факультет переподготовки и повышения квалификации в частях и организациях МО РФ является ответственным мероприятием, то в органах военного управления и воинских частях при отборе кандидатов для обучения необходимо учитывать значение коэффициента профессиональной компетентности офицера по виду профессиональной деятельности, который характеризует продуктивность решения офицером профессиональных задач и определяется при анализе результатов процесса обучения в военном вузе и изменяется в ходе выполнения профессиональных (служебных) обязанностей (например, при оценивании результатов профессионально-должностной

подготовки, а также в процессе переподготовки и повышения квалификации). При этом рекомендуется отбирать кандидатов для обучения с коэффициентом профессиональной компетентности по инженерно-технической деятельности не ниже 50 [6].

Таблица 3

Дифференциация слушателей по характеру успешности

Характер успешности	Слушатели	Коэффициент профессиональной компетентности по виду профессиональной деятельности (инженерно-техническая), R	Коэффициент профессиональной компетентности слушателей, R_i
Высококомпетентные $75 < R \leq 100$	Фи.*	85	87,3
	Бе.*	92	100
	Ко.*	80	89,2
Среднекомпетентные $50 < R \leq 75$	Ли.*	50	50,1
	Та.*	64	66,5

Исследование слушателей с различным характером успешности (высококомпетентные, среднекомпетентные) дает возможность предположить значимые различия в профессиональных возможностях выпускников с различными показателями коэффициента профессиональной компетентности R и в определенной степени спрогнозировать успешность последующей служебной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кадровые факторы являются важной составляющей необходимых и достаточных условий достижения и удержания господства в воздушно-космическом пространстве. В общем случае эти факторы характеризуют степень подготовленности военных специалистов к решению задач эксплуатации изделий военной техники (задач по предназначению) и определяются наличием в Министерстве обороны Российской Федерации системы многоуровневой программы подготовки, а также подсистемой оценивания эффективности образовательного процесса на всех уровнях подготовки [7].

Для оперативного оценивания профессиональной компетентности военных специалистов при освоении ими дополнительных программ повышения квалификации в военных вузах возможно использовать предложенный научно-методический аппарат. Его применение позволит оперативно и достоверно решить следующие задачи:

- оценить индивидуальный уровень профессиональной компетентности военных специалистов, как в ходе процесса переподготовки, так и по результатам итоговой аттестации;
- рассчитать величину индивидуального суммарного коэффициента профессиональной компетентности слушателя на основании полученных за период подготовки оценок за теоретические знания, умения и практические навыки, оцененные в процессе подготовки;
- оценить результаты подготовки всей группы слушателей;
- оценить результаты подготовки различных групп слушателей, в том числе и разделенных по времени обучения;

– выдать обоснованные предложения и рекомендации преподавательскому составу для совершенствования учебного процесса, органам военного управления для решения кадровых вопросов.

Применение предложенного подхода к оцениванию профессиональной компетентности военных специалистов, проходящих обучение по дополнительным профессиональным программам повышения квалификации, не требует от преподавателя больших затрат времени и наличия дополнительных педагогических и психологических знаний. Данный подход может быть использован для оперативного и достоверного оценивания профессиональной компетентности слушателей в ходе учебного процесса по любой специальности подготовки, для различных сроков обучения и различной численности учебных групп, в том числе и при проведении рубежного контроля.

Список используемых источников

1. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»: Приказ МО РФ № 670 от 15.09.2014. – URL: <http://base.garant.ru/70791866/> (дата обращения: 24.09.2018).

2. Алтухов А.И., Калинин В.Н., Чебурков М.А. Об опыте формирования и оценивания компетенций по дисциплинам профессионального цикла в системе военного образования // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2016. – Вып. 650. – С. 204–209.

3. Квалификационные требования к уровню подготовки военных специалистов по «Информационно-аналитическому сопровождению летной эксплуатации орбитальных космических средств»: утверждены Главнокомандующим Воздушно-космическими силами. – 9 с.

4. Кунтурова Н.Б. Квалиметрия профессиональной компетентности в системе непрерывной подготовки и распределения офицерских кадров Космических войск: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 368 с.

5. Кунтурова Н.Б., Яковлева Н.А. Подход к оцениванию профессиональной компетентности специалистов силовых структур по видам деятельности при организации контроля формирования профессиональной компетентности // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2016. – № 2 (70). – С. 146–150.

6. Оценивание результативности реализации методики организации контроля формирования профессиональной компетентности военных специалистов / Е.Г. Воробьев, Н.Б. Кунтурова, А.В. Панков и др. // Известия СПб ГЭТУ ЛЭТИ. – 2015. – № 3. – С. 54–58.

7. Дыбов В.Н., Подгорных Ю.Д. О необходимых условиях достижения (завоевания) господства в воздушно-космической сфере // Военная мысль. – 2018. – № 8. – С. 15–20.

А.В. Лагун,
кандидат техн. наук, доцент;
В.М. Скутницкий,
кандидат военных наук;
В.Л. Слатов;
А.В. Фарафонов

ВЫБОР И АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММНОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНИКОВ И ОБУЧАЮЩИХ КУРСОВ (МОДУЛЕЙ) ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Представлены результаты исследования по выбору программной оболочки для создания электронных учебников и обучающих курсов (модулей) по подготовке военных специалистов на основе анализа современных программных средств и электронных оболочек, применяемых для разработки электронных учебников, введенных в военных вузах Министерства обороны РФ.

Ключевые слова: интерактивный электронный учебник, программный продукт (оболочка).

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные и локальные компьютерные сети, новые информационно-коммуникативные технологии (ИКТ), цифровые видеотехнологии в ближайшие десятилетия станут доминирующей составляющей системы образования Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ). Важным аспектом в решении этой проблемы является разработка, внедрение и использование информационных технологий в образовательной деятельности, разработка и создание на их основе электронных учебников (ЭУ) и обучающих курсов (ОК), электронных учебных пособий (ЭУП), электронных учебно-методических пособий (ЭУМП).

ВЫБОР И АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММНОЙ ОБОЛОЧКИ

Современный уровень развития ИКТ значительно расширяет возможности доступа к образовательной и профессиональной информации для преподавателей и обучающихся, улучшает управление военным образовательным учреждением, позволяет успешно применять их в образовании с целью развития творческого потенциала военнослужащих посредством более эффективной организации их познавательной деятельности в ходе учебного процесса. Образовательные процессы не могут проходить без внедрения в обучение широкого спектра информационных ресурсов, развития умений обработки и представления различной информации в электронном виде. Создание и использование в учебном процессе интерактивных ЭУ и ОК позволит организовать системы дистанционного обучения в военных вузах Министерства обороны Российской Федерации, создать электронную библиотеку в масштабах Вооруженных сил Российской Федерации, что поднимет качество обучения и подготовки военных специалистов на принципиально новый уровень.

Основными руководящими документами, определяющими требования к программным продуктам (оболочкам) по созданию интерактивных ЭУ и ОК, являются:

- федеральный закон от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- приказ Министра Обороны Российской Федерации № 670 от 15 сентября 2014 г. «О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

- единый стандарт электронного учебника, утвержденный Министром обороны Российской Федерации 29 сентября 2015 года;
- ГОСТ Р 7.0.83-2013 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения»;
- ГОСТ Р 55751-2013 «Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронные учебно-методические комплексы. Требования и характеристики»;
- Методические рекомендации ГУК МО РФ по созданию интерактивных ЭУ и ОК для подготовки военных специалистов по основным и дополнительным профессиональным образовательным программам, утвержденные статс-секретарем – заместителем Министра обороны Российской Федерации 30 мая 2016 года.

До настоящего времени не существовало единого подхода к определению понятий «интерактивный ЭУ» и «обучающий курс», учитывающего специфику обучения военнослужащих. Также возникла необходимость выбора единой программной оболочки для разработки ЭУ из представленных на рынке и разработки предложений в ТТЗ на ОКР по созданию такой программной оболочки для применения в ВС РФ. В связи с этим особую актуальность приобретает научное обоснование данных вопросов.

Таким образом, для обеспечения внедрения ЭУ в образовательную деятельность возникла необходимость проведения научно-исследовательской работы, в ходе выполнения которой необходимо решить следующие задачи:

- выработать единые подходы к понятиям интерактивный ЭУ и ОК;
- провести анализ имеющихся наработок в области разработки интерактивных ЭУ и ОК для подготовки военных специалистов;
- определить требования к программному обеспечению (оболочке), необходимому для разработки и функционирования интерактивных ЭУ;
- определить требования к аппаратному обеспечению, необходимому для разработки и функционирования интерактивных ЭУ;
- разработать предложения в техническое задание на создание программных продуктов (оболочек) по созданию интерактивных электронных учебников и обучающих курсов;
- разработать методики создания электронных учебников и обучающих курсов для подготовки военных специалистов по основным и дополнительным профессиональным образовательным программам, в том числе для дистанционного обучения.

Для решения данных вопросов в Вооруженных силах Российской Федерации проведена комплексная научно-исследовательская работа по созданию методики разработки и применения интерактивных электронных учебников и обучающих курсов (модулей) для подготовки военных специалистов (шифр «Электрон-2016»). ВКА имени А.Ф. Можайского участвовала в качестве исполнителя составной части этой работы.

В ходе выполнения данной работы было определено следующее:

- терминология и понятия интерактивного ЭУ и ОК;
- проанализированы имеющиеся наработки в области разработки интерактивных ЭУ и ОК для подготовки военных специалистов по основным и дополнительным профессиональным образовательным программам в военных образовательных организациях Министерства обороны Российской Федерации, а также у ведущих разработчиков программных продуктов в данной области;
- требования к оболочке, программному и аппаратному обеспечению для разработки и функционирования интерактивных ЭУ и ОК;
- макеты (примеры) программных продуктов (оболочек) интерактивных ЭУ и ОК для подготовки военных специалистов по основным и дополнительным профессиональным образовательным программам, в том числе для дистанционного обучения;
- методика создания ЭУ и ОК для подготовки военных специалистов по основным и дополнительным профессиональным образовательным программам, в том числе для дистанционного обучения;

- военно-научное сопровождение создания программных продуктов (оболочек) для интерактивных ЭУ и ОК;
- финансово-экономическое обоснование затрат на реализацию результатов научно-исследовательской работы.

Проведенный анализ программных средств и электронных оболочек, предназначенных для создания ЭУ и ОК, разработанных и внедренных в военных вузах Министерства обороны РФ, а также созданных ведущими разработчиками программного обеспечения в данной области, показал, что они не позволяют создать ЭУ, в полной мере удовлетворяющий требованиям, предъявляемым единым стандартом ЭУ Министерства обороны Российской Федерации, поэтому существует необходимость разработки ТТЗ на ОКР по созданию нового программного средства разработки и эксплуатации интерактивных ЭУ и ОК.

Для выполнения требований Министра обороны Российской Федерации по реализации в военных вузах электронного обучения до разработки единой программной оболочки по созданию ЭУ и ОК необходимо провести исследования по анализу имеющихся программных средств, предназначенных для создания ЭУ и ОК, на предмет наибольшего удовлетворения комплексному критерию, составляющими которого являются:

- наибольшее соответствие Единому стандарту электронного учебника, утвержденному Министром обороны Российской Федерации 29 сентября 2015 года;
- наилучшее соотношение цена – качество;
- удобство работы и интуитивно-понятный интерфейс для обучающегося.

В ходе анализа программных продуктов (оболочек) для разработки интерактивных ЭУ и ОК рассмотрено более 30 оболочек различных производителей. Из них для дальнейших исследований были оставлены 14, такие как «SunRav BookOffice 4.3 (SunRav TestOfficePro 6.0)», «1С: Электронное обучение «Конструктор курсов», «iSpring Suite 8.1», «eAuthor», WebTutor фирмы Websoft, «Electronic Book», «Adobe Dreamweaver CC», «PDF+Autoplay Media Studio», «Vclass», «Neo book», «Ebooks writer 2006 (gold)», «Desktop autor», «Kvisoft FlipBook Maker Pro v3.6.5», «Apache 2.4 WEB (HTTP)».

Количественные результаты исследований по соответствию указанных оболочек выбранному комплексному критерию приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количественные результаты исследований выбранных программных продуктов

№ п/п	Наименование программного продукта	Соответствие стандарту ЭУ МО РФ	Соотношение цена – качество	Удобство работы и интерфейс разработчика
1	SunRav BookOffice	8	10	8
2	1С: Электронное обучение	7	2	9
3	iSpring Suite 8.1	3	4	7
4	eAuthor	2	3	6
5	WebTutor	5	5	5
6	Electronic Book	2	6	4
7	Adobe Dreamweaver CC	1	5	3
8	PDF+Autoplay Media Studio	2	5	4
9	Vclass	1	6	5
10	Neo book	1	5	4
11	Ebooks writer 2006 (gold)	3	6	3
12	Desktop autor	2	5	2
13	Kvisoft FlipBook Maker Pro	3	5	4
14	Apache 2.4 WEB (HTTP)	2	6	7

Исследования проводились методом экспертного опроса путем присвоения оценки по 10-балльной шкале по каждому из выбранных составляющих комплексного критерия.

Учитывая количественные результаты показателей рассмотренных программных продуктов (оболочек), составлен их рейтинг качества (рис. 1) для дальнейшего сравнения указанных программных продуктов между собой и оценки их роли и места во внедрении и использовании информационных технологий в образовательной деятельности военных вузов МО РФ. Рейтинг качества составлен путем суммирования набранных баллов с учетом весовых коэффициентов, учитывающих важность каждой составляющей. Весовые коэффициенты приведены в табл. 2.

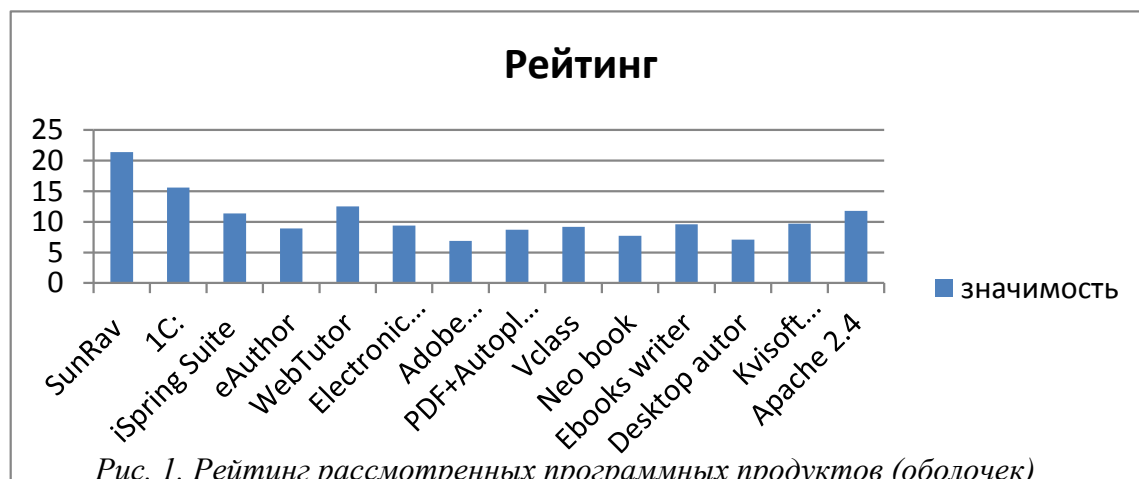


Рис. 1. Рейтинг рассмотренных программных продуктов (оболочек)

Таблица 2

Весовые коэффициенты для составления рейтинга программных продуктов

Наименование составляющей комплексного критерия	Соответствие стандарту ЭУ МО РФ	Соотношение цена-качество	Удобство работы и интерфейс разработчика
Значение весового коэффициента	1,0	0,7	0,8

На основании результатов рейтинга в дальнейшем более подробному анализу были подвергнуты следующие оболочки:

- «SunRav BookOffice 4.3 (SunRav TestOfficePro 6.0)»;
- «1C: Электронное обучение «Конструктор курсов»;
- «iSpring Suite 8.1»;
- WebTutor.

Подробный анализ вышеназванных программных оболочек показал, что наиболее соответствующим комплексному критерию является программа SunRav BookEditor.

Основные достоинства данного программного продукта:

- простота в освоении за счет удобного интуитивно понятного интерфейса среды разработки;
- богатый функционал для редактирования и оформления электронного издания;
- удобная и функциональная среда разработки и проведения тестирования;
- возможность работы в редакторе и программе просмотра пользователем с начальным уровнем подготовки;
- возможности форматирования текста аналогичны возможностям редактора Microsoft Word, что упрощает работу в редакторе Sunrav BookEditor;
- программа имеет узнаваемый «дружественный» интерфейс распространенного пакета Microsoft Office;

- программа позволяет проводить тестирование обучаемых, используя богатый функционал тестов;
- реализованы широкие статистические возможности по подведению итогов тестирования;
- удобный в использовании функциональный генератор отчетов, позволяющий экспортировать отчеты в формат таблиц Microsoft Excel для дальнейшей статистической обработки, а также во множество других популярных форматов, таких как: HTML, XML, CSV, Microsoft Word;
- богатый инструментарий конверторов, как по импорту, так и по экспорту различного вида контента.

Электронный учебник, созданный с помощью данной программы в формате html, позволяет использовать его в различных операционных системах (в том числе Windows, MCBC 3.0, MCBC 5.0, Astra Linux, Android) и не требует установки дополнительных программных модулей за исключением дополнительного ПО – SunRav Test Office Pro, для создания системы тестирования, предназначенной для самоконтроля и промежуточного контроля знаний обучающихся.

При выполнении второго этапа КНИР «Электрон-2016» была проведена апробация выбранной оболочки для разработки и создания интерактивных электронных учебников и обучающих курсов SunRav BookEditor и SunRav TestOfficePro. В ходе апробации в рамках учебного процесса практически на всех кафедрах ВКА имени А.Ф. Можайского были созданы и внедрены в учебный процесс академии более 120 электронных учебников, обучающих курсов и учебных пособий.

Проведенная апробация показала, что SunRav – это целостная дидактическая, методическая и интерактивная программная система, которая разрешает изложить сложные элементы учебного материала с использованием богатого арсенала разных форм отображения информации, а также дает представление о методах научного исследования с помощью имитации последнего средствами мультимедиа, гипертекста. При этом повышается эффект обучения за счет более понятного, яркого и наглядного представления материала.

Создание ЭУ было разбито на ряд этапов:

1. Разработка и создание сценария электронного учебного издания.
2. Определение механизма контроля усвоения знаний обучающимися.
3. Подготовка исходного текста, мультимедийной части и определения ссылок.
4. Непосредственная разработка электронного учебного издания.
5. Проверка работоспособности и отладка электронного учебного издания.

Следующим этапом выполнения поручения Министра обороны Российской Федерации по организации перехода в военных вузах Министерства обороны на обучение по электронным учебникам является разработка ТТЗ на проведение ОКР по разработке программной оболочки для создания ЭУ и ОК в соответствии с Единым стандартом электронного учебника, утвержденного Министром обороны Российской Федерации 29 сентября 2015 года.

До выполнения данной ОКР для разработки электронных учебников и обучающих курсов целесообразно использовать программный комплекс в составе: SunRav BookOffice 4.3 для создания ЭУ и ОК и SunRav TestOfficePro 6.0 для создания электронных тестов.

Программная оболочка SunRav позволяет создавать ЭУ и ОК на высоком уровне, как в плане изложения материала для обучаемых, так и в плане организации контроля усвоения изученного материала.

Проведенный в рамках апробации выбранной программной оболочки научно-педагогический эксперимент показал удобство и эффективность выбранной программной оболочки и разработанных методик создания ЭУ и ОК. Все это позволило повысить качество обучения за счет следующих факторов:

- применения в учебном процессе интерактивных ЭУ и ОК в соответствии с указаниями Министра обороны РФ;

- использования при создании и обучении унифицированной оболочки для электронных учебных изданий по различным дисциплинам, что обеспечивает простоту и легкость в обучении и использовании;

- обеспечения обучающихся возможностью доступа к электронной библиотечной системе.

Таким образом, развитие и совершенствование процессов обучения невозможно без применения современных информационных технологий.

Одним из путей повышения эффективности подготовки военных специалистов является введение в процесс обучения интерактивных электронных учебников и обучающих курсов, повышение за счет их использования качества учебного процесса и развитие на их базе системы дистанционного обучения военных вузов. Базовые ЭУ должны использоваться в качестве:

- источника основной литературы;
- источника дополнительной литературы;
- базы тестовых заданий с автоматической проверкой;
- инструмента по работе с информацией.

Основными направлениями дальнейшего совершенствования ЭУ и методик их применения являются:

- создание информационно-образовательной среды в вузах Министерства обороны Российской Федерации, одним из компонентов которой являются ЭУ и ЭОК;

- развитие в вузах и в Министерстве обороны Российской Федерации сетевых технологий, охватывающих не менее 70 % участников образовательной деятельности. Для их бесперебойной работы необходимо создание в вузах штатного подразделения по обслуживанию и администрированию создаваемых ресурсов;

- обновление материально-технического обеспечения создания и применения ЭУ на занятиях в вузах МО РФ;

- поддержание содержания учебных материалов ЭУ в актуальном состоянии, повышение наглядности учебного материала за счет расширения его мультимедийности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании экспериментальных результатов был сделан вывод о том, что при разработке электронных учебников и обучающих курсов целесообразно использовать программный комплекс в составе: SunRav BookOffice 4.3 для создания электронных учебников и обучающих курсов и SunRav TestOfficePro 6.0 для создания электронных тестов. Данный программный комплекс позволяет создавать электронные учебники и обучающие курсы на высоком уровне как в плане изложения материала для обучаемых, так и в плане организации контроля усвоения изученного материала.

Список используемых источников

1. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. – М.: Информационно-издательский дом «Филин», 2003.
2. Единый стандарт электронного учебника: утвержден Министром обороны РФ 29 сентября 2015 г. – URL:http://function.mil.ru/function/searc_the_site.htm (дата обращения: 17.05.2018).
3. Использование современных информационных технологий в процессе подготовки специалистов по эксплуатации РКТ / М.М. Пеньков, И.А. Васильев, Е.В. Басотин и др // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы улучшения

тактико-технических характеристик ракетно-космической техники, ее создания, испытаний и эксплуатации». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – Т.1. – С. 337–344.

4. Создание методики разработки и применения интерактивных электронных учебников и обучающих курсов (модулей) для подготовки военных специалистов: отчет о КНИР. Шифр «Электрон-2016» (заключ.) / Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – 127 с.

Е.А. Новиков,
доктор техн. наук, доцент;

Д.А. Севастьянов,
кандидат техн. наук

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры»;

А.С. Фадеев,
доктор техн. наук, профессор

Публичное акционерное общество «Центральное научно-производственное объединение «Каскад»;

К.Ю. Цветков,
доктор техн. наук, профессор

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Изложена концепция создания межведомственного цифрового образовательного кластера подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения. Проведен обзор уровня разработок в сфере цифрового образования. На основе анализа основных тенденций в области цифрового образования выявлены основные противоречия, возникающие при внедрении современных цифровых технологий в процесс подготовки кадров для космической отрасли России. Сформулированы цели и задачи разработки цифрового образовательного комплекса, хронология, полученные результаты и достигнутый эффект от его внедрения. Внедрение цифрового образовательного комплекса в практику подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения позволяет добиться значимого социального и экономического эффекта в области эксплуатации современных телекоммуникационных средств, систем и комплексов и в общем способствует созданию цифровой образовательной среды.

Ключевые слова: инфокоммуникационные средства космического назначения, профессиональные компетенции, цифровой образовательный комплекс, технологии и методики обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Основные параметры современной цифровой образовательной среды (ЦОС) Российской Федерации сформулированы в приоритетном проекте «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» [1], при этом применительно к вузовскому образованию понятие «современная цифровая образовательная среда», как правило, трактуется как совокупность так называемых «онлайн-курсов» по тем или иным дисциплинам высшего и специального профессионального образования [2]. Такой подход к ЦОС хорошо работает для формирования компетенций по специальностям естественно-научной и гуманитарной направленности [3–12], в то время как для специальностей узкой прикладной направленности, например в областях управления летательными аппаратами, военной техникой и иным сложным технологическим оборудованием, широкое применение находит подход, связанный с разработкой тренажерных комплексов (ТК) [13–17]. Тренажерные комплексы при этом являются компьютерной, полунатурной или даже натурной моделью реального образца техники или реального технологического процесса [13–17]. При разработке тренажерных комплексов так же, как и при разработке «онлайн-курсов», широкое применение находят современные цифровые технологии, например «технология дополненной реальности» [17] и «web-технологии» [13]. И, наконец, необходимо добавить, что требование создания учебно-тренировочных средств (УТС) повсеместно включается в технические задания по разработке новых образцов космической техники, а также вооружения и

военной специальной техники. В этом случае разработчики, как правило, опираются на совокупность специальных функциональных требований, предъявляемых к соответствующему образцу (прототипу) космической или военной техники, а также на ряд руководящих документов Роскосмоса, Министерства обороны РФ [18] и ГОСТ [19]. При этом ограниченность материальных ресурсов, выделяемых на создание УТС, как правило, вынуждает разработчиков идти по пути внедрения современных цифровых технологий.

Очевидно, что все три озвученных выше направления внедрения современных цифровых технологий в образовательный процесс вполне могут рассматриваться как реализация цифровой образовательной среды в широком смысле. Создание межведомственного цифрового образовательного кластера подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения является удачным результатом объединения всех трех вышеперечисленных направлений, когда полученный результат одновременно является открытой системой, предоставляющей образовательные услуги потенциально неограниченному числу пользователей, позволяет сформировать узкоспециализированные компетенции по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения и в то же время является составной частью нескольких образцов космической и военной техники, разработанных в рамках соответствующих опытно-конструкторских работ. Описанию концепции создания и структуры межведомственного цифрового образовательного кластера подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения посвящена данная публикация.

ПРИНЦИПЫ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Как уже было отмечено во введении, основным трендом развития современной цифровой образовательной среды является создание и развитие «онлайн-курсов», предоставляющих равные возможности по доступу к электронным образовательным ресурсам для всех пользователей сети Интернет [11]. Примером площадки для «онлайн-курсов» является сайт [2]. Преимущества такого подхода известны и хорошо обоснованы [3], однако имеются и существенные недостатки. Критический взгляд на внедрение «онлайн-курсов» в практику образовательной деятельности содержится в работе [20]. Основной вывод, с которым нельзя не согласиться и который определяет основное слабое место главенствующего тренда – это, как ни странно, формирование заданных федеральными государственными образовательными стандартами компетенций бакалавра, магистра и особенно специалиста. Ведь формирование заданных компетенций – это задача балансировки объема знаний и опыта решения конкретных практических задач, свойственных той или иной профессии. Использование для получения образования только «онлайн-курсов» позволяет получить специалиста, решающего конкретные практические задачи, чисто умозрительно. Для ряда профессий, возможно, это допустимо, однако существует множество технических специальностей, требующих непосредственного опыта работы на конкретном оборудовании (технической системе или комплексе). К таким специальностям относятся специальности, ориентированные на разработку и эксплуатацию инфокоммуникационных средств космического назначения.

Формирование компетенций по специальностям, имеющим эксплуатационную направленность, достаточно эффективно осуществляется на основе использования тренажерных комплексов. Например, в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского на высоком уровне осуществляется подготовка специалистов в области применения систем дистанционного зондирования Земли с использованием многофункционального учебно-тренажерного комплекса приема, обработки, хранения данных дистанционного зондирования Земли [13]. Подход к формированию компетенций специалистов, основанный на использовании тренажерных комплексов, с одной стороны, аккумулирует в себе весь накопленный опыт эксплуатации средств, систем или

комплексов и позволяет гарантированно сформировать необходимый набор компетенций специалиста, а с другой стороны, локализован в рамках конкретного вуза (кафедры). Опыт создания и использования тренажерного комплекса в этом случае с большими издержками может быть расширен или перенесен в другой вуз или в смежную специальность. Такие системы изначально не предусматривают вариант открытого использования с помощью сети Интернет.

В свою очередь, учебно-тренировочные средства, создаваемые в рамках опытно-конструкторских работ, в максимальной степени учитывают особенности эксплуатации конкретного образца космической, военной или специальной техники, однако ориентированы в подавляющем случае только на подготовку обслуживающего персонала на местах и не предусматривают открытого доступа пользователей с использованием сети Интернет.

Наиболее удачным примером в области подготовки специалистов по эксплуатации телекоммуникационного оборудования может служить система обучения, разработанная в рамках подготовки специалистов по эксплуатации оборудования Cisco [21]. Академия Cisco предлагает как очные курсы с освоением реальных образцов техники, так и дистанционные курсы, содержащие теоретическую и практическую части. Практические занятия при этом используют flash-технологии для создания эмуляторов операционной системы коммутаторов и маршрутизаторов Cisco, что в итоге позволяет сформировать необходимый набор компетенций специалистов.

К основным принципам, положенным в основу разработки цифрового образовательного кластера, относятся:

- принцип открытости цифровой образовательной среды;
- принцип инвариантности к направлению и форме подготовки специалистов в ЦОК;
- принцип преемственности и совместимости с другими ОК;
- принцип универсальности составных частей ЦОК.

Концепция создания цифрового образовательного комплекса «Межведомственный цифровой образовательный кластер подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения» нацелена на разрешение указанных выше противоречий и заключается в том, чтобы:

- 1) сформировать максимально гибкую и открытую базу знаний в области эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения с использованием открытой платформы Moodle;
- 2) обеспечить формирование компетенций специалистов за счет получения опыта эксплуатации оборудования, реально использующегося в космической отрасли;
- 3) обеспечить возможность обмена опытом всех заинтересованных участников образовательного процесса, в том числе по смежным специальностям;
- 4) обеспечить разработку тренажерных средств, их поставку и доступ к ним всех заинтересованных участников образовательного процесса, в том числе по смежным специальностям;
- 5) совместить разработку ЦОК с разработкой учебно-тренировочных средств в рамках опытно-конструкторских работ и за счет этого обеспечить доступ всех заинтересованных участников к актуальной информации о разрабатываемых телекоммуникационных системах и комплексах.

СОСТАВ МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Цифровой образовательный кластер для подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения [3] разработан в период 2010–2019 гг. при непосредственном участии авторов статьи. Он включает в себя три цифровых образовательных комплекса (рис. 1).

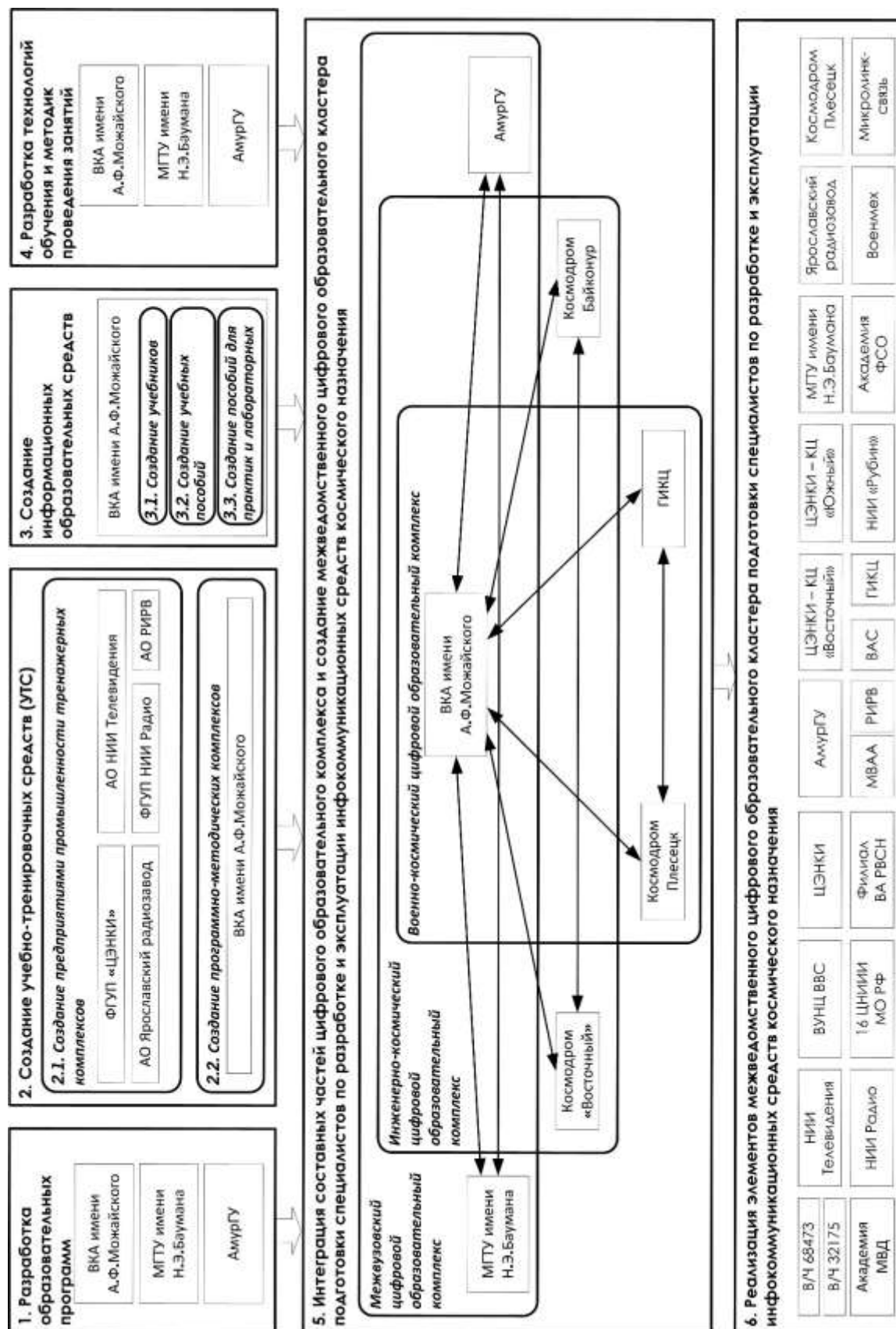


Рис. 1. Порядок разработки и структура цифрового образовательного комплекса «Межведомственный цифровой образовательный кластер подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения»

1. Межвузовский цифровой образовательный комплекс (МВЦОК), включающий в свой состав три основных элемента – ВКА имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург), МГТУ имени Н.Э. Баумана (г. Москва), АмурГУ (г. Благовещенск) и четыре дополнительных – Военную академию связи (г. Санкт-Петербург), Академию Федеральной службы охраны (г. Орел), Академию МВД (г. Санкт-Петербург) и Военный учебно-научный центр ВВС (г. Воронеж).

2. Военно-космический цифровой образовательный комплекс (ВКЦОК), включающий в свой состав три основных элемента – ВКА имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург), космодром Плесецк (г. Мирный, Архангельская область) и Главный испытательный космический центр (ГИКЦ) имени Г.С. Титова (г. Краснознаменск, Московская область).

3. Инженерно-космический цифровой образовательный комплекс (ИКЦОК), включающий в свой состав три основных элемента – ВКА имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург), космодром «Восточный» и космодром Байконур.

Каждый из перечисленных ЦОК имеет типовую структуру и включает в себя четыре взаимосвязанных элемента:

1. Образовательные программы высшего образования по специальностям 11.05.04 «Информационные технологии и системы специальной связи» (реализуется в ВКА имени А.Ф. Можайского в интересах подготовки специалистов для ГИКЦ и космодрома Плесецк), 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами» (реализуется в МГТУ имени Н.Э. Баумана в интересах подготовки специалистов для космодромом «Восточный» и Байконур) и 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика» (реализуется в АмурГУ в интересах подготовки специалистов для космодромом «Восточный» и Байконур), среднего профессионального образования по специальности 11.02.11 (реализуется в ВКА имени А.Ф. Можайского в интересах подготовки специалистов для узлов связи Космических войск), дополнительного профессионального образования по специальности «Применение и эксплуатация систем связи космических комплексов» (реализуется в ВКА имени А.Ф. Можайского в интересах подготовки специалистов для узлов связи Космических войск), а также в рамках профессиональной подготовки специалистов космодромов «Восточный» и Байконур и профессионально-должностной подготовки и специалистов ГИКЦ и космодрома Плесецк без отрыва от исполнения специальных обязанностей.

2. Учебно-тренировочные средства системы связи и передачи данных космодрома Байконур, системы связи и передачи данных космодрома «Восточный», а также системы спутниковой связи «Приморка-М».

3. Информационные образовательные средства [22–27], включающие в свой состав учебники, учебные пособия и руководства по практическим и лабораторным работам, как в электронном, так и традиционном бумажном виде.

4. Технологии обучения и методики проведения занятий, определяющие порядок взаимодействия элементов ЦОК при реализации образовательных программ высшего, среднего профессионального, дополнительного профессионального образования, а также программ профессиональной и профессионально-должностной подготовки.

Использование МВЦОК и ИКЦОК предусматривает прежде всего проведение лекционных занятий с персоналом космодромов Байконур и «Восточный» в рамках их профессиональной подготовки (рис. 2). Кроме того, с использованием МВЦОК и ИКЦОК могут проводиться контрольные занятия и консультации. Технологии дистанционного обучения в МВЦОК и ИКЦОК предусматривают в том числе и занятия с курсантами ВКА имени А.Ф. Можайского и студентами МГТУ имени Н.Э. Баумана и АмурГУ, которые проводят наиболее подготовленные специалисты космодромов Байконур и «Восточный» (рис. 3). Очевидно, что в данном варианте преимущественно проводят практические занятия и консультации. Использование ВКЦОК предусматривает проведение лекционных, контрольных и консультационных занятий преподавателями ВКА имени А.Ф. Можайского с личным составом космодрома Плесецк и Главного испытательного космического центра в рамках их профессионально-должностной подготовки (рис. 4), а также проведение наиболее подготовленными специалистами космодрома Плесецк и Главного

испытательного космического центра практических и консультационных занятий с курсантами ВКА имени А.Ф. Можайского (рис. 5). Средства ЦОК могут применяться также и для обмена опытом между преподавательским составом вузов и квалифицированными специалистами космодромов и ГИКЦ. Такое взаимодействие может быть организовано в рамках работы предметно-методических комиссий кафедр вузов по дисциплинам эксплуатационной направленности (рис. 6 и 7).

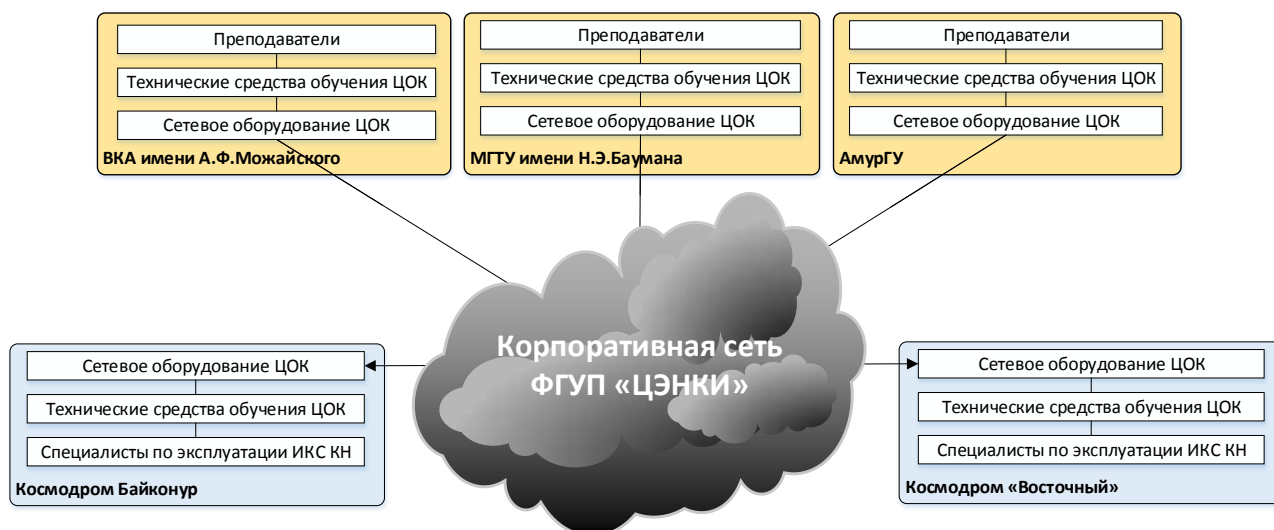


Рис. 2. Использование МВЦОК и ИКЦОК для дистанционного проведения занятий со специалистами по эксплуатации инфокоммуникационных средств космодромов Байконур и «Восточный»



Рис. 3. Использование МВЦОК и ИКЦОК для дистанционного проведения занятий со студентами МГУ и АмурГУ, а также курсантами ВКА



Рис. 4. Использование ВКЦОК для дистанционного проведения занятий со специалистами по эксплуатации инфокоммуникационных средств космодрома Плесецк и ГИКЦ

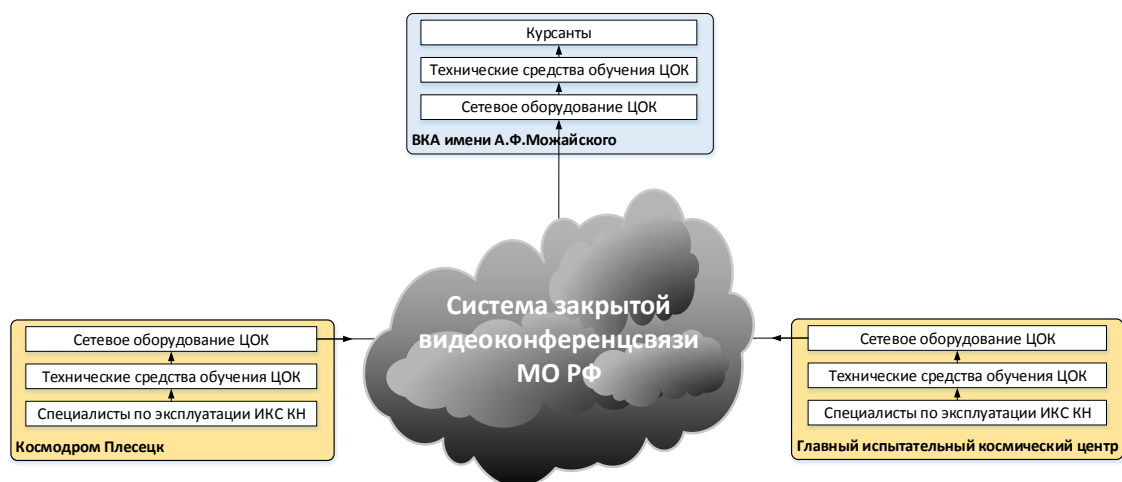


Рис. 5. Использование ВКЦОК для дистанционного проведения занятий с курсантами ВКА имени А.Ф. Можайского



Рис. 6. Использование МВЦОК и ИКЦОК в работе предметно-методических комиссий ВКА имени А.Ф. Можайского, МГТУ и АмурГУ

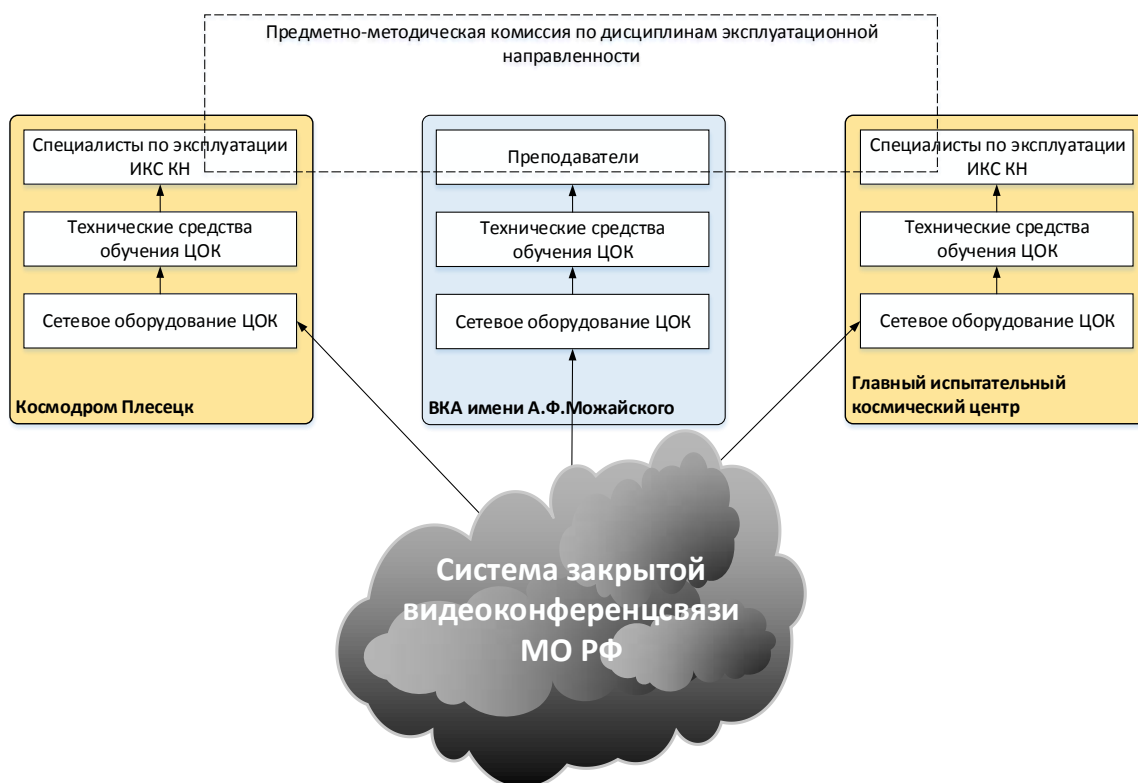


Рис. 7. Использование ВКЦОК в работе предметно-методических комиссий ВКА имени А.Ф. Можайского

РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КЛАСТЕР ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ»

Научная новизна разработанного цифрового образовательного комплекса состоит в том, что впервые на основе системного подхода и принципа декомпозиции разработаны и созданы:

- концепция межведомственного цифрового образовательного кластера подготовки специалистов по разработке и эксплуатации сложных территориально распределенных технических систем, в частности, инфокоммуникационных средств космического назначения;
- образовательные технологии с учетом особенностей межведомственной подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения;
- уникальные учебно-тренировочные средства для основных направлений подготовки специалистов по инфокоммуникационным средствам космического назначения;
- современная цифровая информационная образовательная среда на основе дистанционных образовательных технологий и базы цифровых информационно-образовательных средств.

Разработка ЦОК вносит вклад в развитие цифровой образовательной среды и компетентного подхода при реализации образовательных программ высшего, среднего и дополнительного профессионального образования по специальностям «Инфокоммуникационные технологии и

системы специальной связи», «Системы управления летательными аппаратами», «Ракетные комплексы и космонавтика», «Сети связи и системы коммутации» и «Применение и эксплуатация систем связи космических комплексов».

Разработанный ЦОК применяется при реализации образовательных программ на основе новых образовательных стандартов ФГОС 3++ по специальностям 11.05.04, 24.05.06 и 24.03.01, среднего профессионального образования по специальности 11.02.11 и дополнительного профессионального образования по специальности «Применение и эксплуатация систем связи космических комплексов» и позволяет обеспечить необходимый уровень компетенций специалистов. Все разработанные УТС размещены в ВКА имени А.Ф. Можайского, МГТУ имени Н.Э. Баумана и Амурском ГУ, космодромах Байконур, «Восточный» и Плесецк, а также в Главном испытательном космическом центре и внедрены в учебный процесс вузов и в процесс профессиональной и профессионально-должностной подготовки космодромов.

Разработка и внедрение ЦОК позволили достичь значимого социального эффекта, а именно:

1. Повысить качество подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения.
2. Повысить престиж образования, социальной защищенности и конкурентоспособности выпускников-специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения.
3. Повысить мотивацию и интерес обучаемых к освоению образовательных программ подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения.
4. Повысить интерес преподавательского состава к разработке и внедрению новых технологий и методик обучения.
5. Активизировать научную и учебную деятельность преподавателей кафедры сетей и систем связи космических комплексов.
6. Создать единое образовательное пространство на основе усиления взаимодействия и интеграции военных и гражданских образовательных учреждений по специальностям разработки и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения.
7. В ВКА имени А.Ф. Можайского сформировалась научная школа сетей и систем связи космических комплексов, включенная в перечень ведущих научных школ Санкт-Петербурга и в перечень ведущих научных школ Минобороны России.

Внедрение УТК позволило достичь значимого экономического эффекта, а именно:

1. На кафедре сетей и систем связи космических комплексов ВКА имени А.Ф. Можайского, кафедре космических приборов и систем МГТУ имени Н.Э. Баумана и кафедре эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры Амурского ГУ создана современная учебно-материальная база для подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения.
2. Созданы учебно-тренировочные средства, использование которых позволило на порядок сократить материальные затраты на оснащение учебно-материальной базы кафедр по направлению разработки и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения.
3. Сокращена стоимость переподготовки и повышения квалификации специалистов из удаленных районов. Так, до внедрения УТК стоимость двухмесячной подготовки одного специалиста по программе ДПО составляла порядка 150 000 рублей, после внедрения УТК стоимость подготовки специалиста по программе ДПО снизилась в среднем в 10 раз.
4. Снижены риски и материальный ущерб при эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры.

Всего по теме УТК кафедрой сетей и систем связи космических комплексов ВКА имени А.Ф. Можайского разработаны 3 учебника, 2 учебных пособия и электронные образователь-

ные ресурсы по каждой из дисциплин профессионального и военно-профессионального циклов. При этом учебники и учебные пособия, включенные в состав УТК, обеспечивают наибольший вклад в формирование компетенций специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения.

На разработанные УТС получены 16 свидетельств о регистрации электронного ресурса в Общероссийском фонде электронных ресурсов «Наука и образование».

По теме УТК опубликованы 15 статей. Получены 35 актов о внедрении разработанных УТС в образовательный процесс ВКА имени А.Ф. Можайского, МГТУ имени Н.Э. Баумана, Амурского ГУ, в Главном испытательном космическом центре, в ряде образовательных учреждений и предприятий промышленности, а также на космодромах Байконур, Плесецк и «Восточный».

Список используемых источников

1. Паспорт приоритетного проекта «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации», утвержденный президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам (протокол от 25 октября 2016 г. № 9). – URL: <https://минобрнауки.рф/проекты/современная-цифровая-образовательная-среда> (дата обращения: 14.11.2018).

2. Открытое образование. – URL: <https://openedu.ru> (дата обращения: 14.11.2018).

3. *Андреев А.А.* Современная цифровая образовательная среда // Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты: материалы VI Международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 26-27 декабря 2017 г. – Воронеж: Воронежский экономико-правовой институт, 2017. – С. 185–188.

4. *Ахметжанова Г.В., Юрьев А.В.* Цифровые технологии в образовательной среде // Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке, технике, образовании», Смоленск, 31 марта 2018 г. – Смоленск: ООО «НОВАЛЕНСО», 2018. – С. 152–157.

5. *Белухина Н.Н., Шубович М.М.* Непрерывное образование и современная цифровая образовательная среда // Электронное обучение в непрерывном образовании: труды V Международной научно-практической конференции, г. Ульяновск, 18-20 апреля 2018 г. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2018. – С. 624–628.

6. *Бойков С.Н.* Цифровая образовательная среда вуза интегратор качества современного образовательного процесса // Современные тенденции развития науки и образования: теория и практика. – М.: ВИПО, 2017. – С. 40–48.

7. *Каракозов С.Д., Уваров А.Ю.* Успешная информатизация – трансформация учебного процесса в цифровой образовательной среде // Проблемы современного образования. – 2016. – № 2. – С. 7–19.

8. *Карпенко М.П.* Телеобучение. – М.: СГА, 2008. – 800 с.

9. *Латышев Д.В., Латышева М.А.* Цифровая образовательная среда в условиях реализации образовательных стандартов ФГОС ВО 3++ // Грани познания. – 2018. – № 3 (56). – С. 52–55.

10. *Лебедева С.В.* Проектирование и применение электронных образовательных ресурсов: учебно-методическое пособие. – Саратов, 2012. – 136 с.

11. *Осинина Т.Н.* Современная цифровая образовательная среда как приоритетный проект Российской Федерации // Педагогическое образование и цифровая революция: теоретические и практические аспекты: сборник материалов XI учебно-методической

конференции, г. Орехово-Зуево, 01 марта 2018 г. – Орехово-Зуево: Государственный гуманитарно-технологический университет, 2018. – С. 69–76.

12. *Силаенков А.Н.* Автоматизированные обучающие системы. – Омск: ОГТУ, 2005 – 170 с.

13. *Алтухов А.И., Сквасников М.А., Чебурков М.А.* Особенности применения многофункционального учебно-тренажерного комплекса приема, обработки, хранения данных дистанционного зондирования земли в учебном процессе // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2013. – Вып. 640. – С. 233–239.

14. *Карпова Л.И., Никитин Д.А.* Тренажеры в отечественной гражданской авиации: история и современность // Научный вестник МГТУ ГА. – 2009. – № 142. – С. 37–41.

15. Компьютерный тренажерный комплекс как инновационное средство обучения в инженерном образовании / Р.К. Нургалиев, Д.А. Рыжов, А.А. Гайнуллина и др. // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20, №7. – С. 101–104.

16. *Плацинда М.Л.* Тренажерный комплекс подготовки штурманов подразделений армейской авиации по тактической подготовке // II Всероссийская педагогическая научная конференция «Проблемы и современные направления развития образования в области аэронавигации», 19 мая 2017 г., г. Сызрань. – Вольск: Вольский военный институт материального обеспечения, 2017. – С. 101–102.

17. *Ханычев В.В.* Тренажерный комплекс для обучения операторов телеуправляемых обитаемых подводных аппаратов различных типов // Технические проблемы освоения мирового океана. – 2015. – С. 50–60.

18. Об учебно-материальной базе Вооруженных Сил Российской Федерации: Приказ МО РФ от 2 марта 2010 г. № 150. – URL <http://regnews.org/law/ry/hw.htm> (дата обращения: 14.11.2018).

19. ГОСТ Р 53620-2009. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронные образовательные ресурсы. Общие положения. – URL <http://docs.cntd.ru/document/1200082196> (дата обращения: 14.11.2018).

20. *Опрышко А.А., Познина Н.А.* Обретение компетентности: Возможности образовательных систем и цифровых информационных сред // Известия Южного федерального университета. Педагогические науки. – 2014. – № 9. – С. 95–101.

21. Сетевая академия Cisco. – URL: <https://www.netacad.com/web/ru/local-focus> (дата обращения: 14.11.2018).

22. *Косяков Е.Н., Новиков Е.А., Цветков К.Ю.* Сети связи и системы коммутации: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 329 с.

23. *Цветков К.Ю., Акмолдов А.Ф., Ефимов С.Н.* Системы многоканальной связи специального назначения: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 131 с.

24. *Цветков К.Ю., Ефимов С.Н., Остахов И.Т.* Защита инфокоммуникационных систем и сетей: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 157 с.

25. *Цветков К.Ю., Остахов И.Т., Косяков Е.Н.* Радиорелейные и спутниковые системы передачи информации специального назначения: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 447 с.

26. *Цветков К.Ю., Топорков И.С., Севастьянов Д.А.* Системы радиосвязи специального назначения: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – 377 с.

27. Учебный тренировочный комплекс подготовки специалистов по разработке и эксплуатации инфокоммуникационных средств космического назначения / К.Ю. Цветков, А.С. Фадеев, Е.А. Новиков и др. // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – Вып. 659. – С. 5–13.

Н.А. Репях,
кандидат философских наук, доцент;
С.С. Терещук

КОРРУПЦИОННЫЕ ПРАВОНАРУШЕНИЯ: ПРИЗНАКИ, ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЕННОЙ СЛУЖБЫ

Авторами сформулировано понятие коррупционного правонарушения, применение которого можно рекомендовать должностным лицам органов военного управления при определении правонарушений в качестве коррупционных. В статье рассмотрена классификация коррупционных правонарушений и применяемые виды юридической ответственности.

Ключевые слова: военнослужащие, коррупционное правонарушение, ответственность.

Проблема противодействия коррупции в сфере государственной, в том числе военной, службы не теряет актуальности длительное время. Антикоррупционное законодательство претерпело ряд существенных изменений и дополнений, которыми скорректированы как материальные нормы, регламентирующие ответственность военнослужащих, так и процедурные, устанавливающие порядок привлечения военнослужащих к ответственности за нарушения законодательства Российской Федерации о противодействии коррупции.

Вместе с тем на сегодняшний день коррупция является одной из серьезнейших проблем, как для государства в целом, так и для Вооруженных Сил, в частности, остро стоит вопрос совершенствования нормативной правовой базы об ответственности военнослужащих за нарушения законодательства Российской Федерации о противодействии коррупции.

В настоящее время законодателем введен и активно используется термин «коррупционные правонарушения», например в ст. 13, 14 Федерального закона от 25 декабря 2008 г. № 273-ФЗ «О противодействии коррупции» [1] и ст. 51.1. Федерального закона от 28 марта 1998 г. № 53-ФЗ «О воинской обязанности и военной службе» [2].

Так, ст. 51.1 во взаимосвязи со ст. 51 Федерального закона «О воинской обязанности и военной службе» определяют, что к коррупционным правонарушениям, совершаемым военнослужащими, относятся:

- непринятие военнослужащим мер по предотвращению и (или) урегулированию конфликта интересов, стороной которого он является;
- непредставление военнослужащим сведений о своих доходах, расходах, об имуществе и обязательствах имущественного характера, а также о доходах, расходах, об имуществе и обязательствах имущественного характера своих супруги (супруга) и несовершеннолетних детей либо представления заведомо недостоверных или неполных сведений;
- участие военнослужащего на платной основе в деятельности органа управления коммерческой организации, за исключением случаев, установленных федеральным законом;
- осуществление военнослужащим предпринимательской деятельности;
- вхождение военнослужащего в состав органов управления, попечительских или наблюдательных советов, иных органов иностранных некоммерческих неправительственных организаций и действующих на территории Российской Федерации их структурных подразделений, если иное не предусмотрено международным договором Российской Федерации или законодательством Российской Федерации;
- нарушение военнослужащим, его супругой (супругом) и несовершеннолетними детьми в случаях, предусмотренных Федеральным законом «О запрете отдельным категориям лиц открывать и иметь счета (вклады), хранить наличные денежные средства и ценности в ино-

и (или) пользоваться иностранными финансовыми инструментами», запрета открывать и иметь счета (вклады), хранить наличные денежные средства и ценности в иностранных банках, расположенных за пределами территории Российской Федерации, владеть и (или) пользоваться иностранными финансовыми инструментами. При этом понятие «иностранное финансовое средство» используется в значении, определенном указанным Федеральным законом;

- неприятие военным служащим, являющимся командиром (начальником), которому стало известно о возникновении у подчиненного ему военного служащего личной заинтересованности, которая приводит или может привести к конфликту интересов, мер по предотвращению и (или) урегулированию конфликта интересов;

- нарушение запретов, ограничений и обязанностей, связанных с прохождением военной службы, предусмотренных п. 7 ст. 10 и ст. 27.1 Федерального закона от 27 мая 1998 года № 76-ФЗ «О статусе военнослужащих».

Вместе с тем ни Уголовный кодекс Российской Федерации, ни Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях, ни военное законодательство не предусматривают составов преступлений, административных правонарушений, дисциплинарных проступков с прилагательным «коррупционные» в наименовании.

Представляется целесообразным уточнить сущностные признаки правонарушения. Прежде всего отметим, что правонарушение – это вредоносное, противоправное, виновное деяние, за которое законом предусмотрена юридическая ответственность. Оно, как известно, характеризуется совокупностью различных признаков, образующих состав правонарушения [3].

Нельзя не согласиться с Т.Л. Козловым, который к таким признакам относит общественную опасность (общественную вредность) и противоправность. По его утверждению «общественная опасность является объективным свойством в том смысле, что деяние причиняет вред обществу, интересам отдельных граждан независимо от осознания данного обстоятельства законодателем. Вместе с тем отнесение деяния к противоправному (законнарушающему) находится в зависимости от законодателя» [4].

Кроме указанных основными признаками правонарушения, по мнению авторов, являются:

- виновность или психически-волевое отношение нарушителя к правонарушению и его последствиям. Традиционно выделяют две формы вины – умысел и неосторожность;

- реальность правонарушения. Юридическая ответственность наступает только за фактически совершенное деяние. Правонарушение может выражаться в форме действия и бездействия;

- наказуемость. Не всякое неисполнение обязанности или несоблюдение запрета является правонарушением. Им признается лишь деяние, совершение которого влечет применение установленных законом мер ответственности.

Одним из главных признаков правонарушения, по мнению автора, является формально-юридический состав правонарушения. Как определяет теория права, любое правонарушение имеет четко определенный состав, в противном случае отсутствие состава правонарушения исключает возможность производства по любой категории дел и привлечение субъекта правонарушения к юридической ответственности.

К составу правонарушения относятся следующие элементы: объективная сторона – деяние, выраженное в форме действия или бездействия; при этом деяние, как правило, должно быть виновным, то есть обладать субъективной стороной. Субъект правонарушения – это физическое лицо, совершившее деяние. В составе правонарушения также присутствует объект правонарушения, который представляет собой ту социальную ценность, те общественные отношения, которым наносится вред или возникает угроза причинения. Одновременно это должны быть такие отношения, которые охраняются законом [5].

Под коррупционными правонарушениями на военной службе понимаются противоправные виновные деяния (действия или бездействие), связанные с неправомерным использованием военными служащими предоставленных им должностных полномочий [4].

Данное определение, являясь правильным по сути, вместе с тем, по мнению авторов, имеет неточности. В частности, под неправомерным использованием военными служащими предоставленных им должностных полномочий не всегда понимается коррупционная составляющая совершаемого деяния. Так, например ст. 339, 340, 341, 347 УК РФ не всегда предусматривают коррупционную составляющую, но всегда сопряжены с неправомерным использованием военными служащими своих должностных полномочий. В связи с вышеизложенным, авторы согласны с мнением Н.А. Пленкина, в той части, где под понятием коррупционных правонарушений, связанных с порядком прохождения военной службы, понимаются противоправные виновные деяния (действия или бездействие), связанные с неправомерным использованием военными служащими предоставленных им должностных полномочий в целях получения выгоды вопреки законным интересам общества и государства [6].

Однако, как указывает Т.Л. Козлов, составы коррупционных правонарушений, подпадающие под указанное определение, содержатся лишь в уголовном законодательстве и имеют форму уголовно-правовых деяний [7].

Такой подход не позволяет в полной мере охватить деяния, которые содержат признаки коррупции, по своей степени общественной опасности не относятся к преступлениям, например, подкуп избирателей, участников референдума (ст. 5.16 КоАП РФ), которыми, естественно, могут также являться военными служащие.

Кроме того, существуют специальные правила и процедуры, ограничения, запреты и обязанности, направленные на профилактику и предупреждение коррупционной деятельности и коррупционного поведения. В частности, процедуры проведения конкурсов, аукционов на закупку имущества, выполнение работ, оказание услуг для государственных нужд, согласно ст. 1 Федерального закона «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд», установлены в том числе и для «предотвращения коррупции и других злоупотреблений в сфере размещения заказов». Нарушение этих процедур влечет административную ответственность (ст. 7.29, 7.30, 7.31 КоАП РФ).

Закрепленная в ст. 11 Федерального закона «О противодействии коррупции» обязанность по предотвращению или урегулированию конфликта интересов на государственной, в том числе военной службе, служит превентивной мерой к возникновению коррупционного поведения, призвана на ранней стадии упреждать превалирование личного, корыстного интереса военного служащего над интересами службы. Нарушение такого рода обязанностей также относится к числу коррупционных правонарушений, в данном случае дисциплинарного характера.

Согласно положениям Модельного закона «Основы законодательства об антикоррупционной политике», принятого в г. Санкт-Петербурге 15.11.2003 постановлением 22-15 на 22-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ, коррупционное правонарушение – это деяние, обладающее признаками коррупции, за которое нормативным правовым актом установлена гражданско-правовая, дисциплинарная, административная или уголовная ответственность [8].

Указанный закон следующим образом классифицирует коррупционные правонарушения.

Коррупционные преступления – корыстные противоправные деяния, предусмотренные Уголовным кодексом Российской Федерации, совершенные с использованием служебного положения должностными лицами и лицами, выполняющими управленческие функции в коммерческой или иной организации.

В Рекомендациях по совершенствованию законодательства государств-участников СНГ в сфере противодействия коррупции (приняты в г. Санкт-Петербурге 23.11.2012 постановле-

нием 38-17 на 38-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ) (см. п. 4.6) отмечено, что к коррупционным преступлениям должны быть отнесены противоправные деяния, соответствующие следующим критериям:

а) наличие надлежащих субъектов общественно опасного деяния, к которым относятся лица, уполномоченные на выполнение государственных функций и предоставление государственных услуг или приравненные к ним лица, иностранные должностные лица и должностные лица публичных международных организаций;

б) связь общественно опасного деяния со служебным положением субъекта, отступлением от его прямых прав и обязанностей; наличие у субъекта общественно опасного деяния корыстного мотива (деяние связано с получением им имущественных прав и выгод для себя или для третьих лиц);

в) совершение преступления только с прямым умыслом.

К коррупционным преступлениям должны быть отнесены общественно опасные деяния, хотя и не отвечающие указанным критериям, но относящиеся к коррупционным в соответствии с ратифицированными государством международными правовыми актами, а также связанные с подготовкой условий для получения лицами, уполномоченными на выполнение государственных функций и предоставление государственных услуг, или приравненными к ним лицами, иностранными должностными лицами и должностными лицами публичных международных организаций выгоды в виде денег, ценностей, иного имущества или услуги имущественного характера, иных имущественных прав либо незаконного предоставления такой выгоды.

В законодательстве государства рекомендуется установить перечни коррупционных преступлений.

К коррупционным преступлениям без каких-либо условий должны быть отнесены:

- нарушение порядка финансирования избирательной кампании кандидата, избирательного объединения, избирательного блока, деятельности инициативной группы по проведению референдума, иной группы участников референдума;

- подкуп участников и организаторов профессиональных спортивных соревнований и зрелищных коммерческих конкурсов;

- получение взятки;

- дача взятки;

- коммерческий подкуп;

- посредничество во взяточничестве;

- злоупотребление полномочиями;

- незаконное предпринимательство;

- контрабанда (совершенная должностным лицом с использованием своего служебного положения).

К коррупционным преступлениям при наличии определенных условий также могут быть отнесены:

- легализация доходов, полученных противозаконным путем;

- создание организованной группы или преступного сообщества либо участие в преступном сообществе;

- вмешательство в разрешение судебных дел и в производство предварительного расследования;

- угроза или насильственные действия в отношении судьи, присяжного заседателя, прокурора, следователя, лица, производящего дознание, судебного пристава, судебного исполнителя, адвоката, эксперта, переводчика;

- принуждение лицом, производящим предварительное следствие или осуществляющим правосудие, к даче показаний;

- лжесвидетельство;

- подкуп или принуждение к даче ложных показаний, ложному заключению либо к неправильному переводу;
- воспрепятствование осуществлению избирательных прав или работе избирательных комиссий;
- фальсификация избирательных документов, документов референдума или неправильный подсчет голосов;
- регистрация незаконных сделок с землей;
- превышение служебных полномочий;
- злоупотребление правомочиями аудиторами, третейскими судьями, нотариусом или адвокатом;
- нецелевое расходование бюджетных средств;
- нецелевое расходование средств государственных внебюджетных фондов;
- служебный подлог;
- вынесение заведомо неправосудного приговора, решения или иного судебного постановления;
- мошенничество;
- присвоение или растрата;
- воспрепятствование законной предпринимательской или иной деятельности;
- монополистические действия и ограничение конкуренции;
- принуждение к совершению сделки или к отказу от ее совершения.

В качестве квалифицирующих (особо квалифицирующих) признаков составов коррупционных преступлений, влекущих за собой более строгие меры уголовной ответственности, в уголовном законодательстве государства рекомендуется закрепить совершение указанных преступлений:

- высшими должностными лицами государства и приравненными к ним по статусу должностными лицами;
- группой лиц по предварительному сговору, организованной преступной группой или преступным сообществом;
- систематически (неоднократно) в отношении действий, составляющих объективную сторону уголовно наказуемого деяния;
- с применением насилия или с угрозой его применения;
- с применением оружия или специальных средств;
- с причинением тяжких последствий;
- с извлечением дохода в крупном или в особо крупном размере.

Остропроблемными, по мнению авторов, выступают административные коррупционные правонарушения, обладающие признаками коррупции и не являющиеся преступлениями правонарушения, за которые установлена административная ответственность.

К административным коррупционным правонарушениям, в соответствии со ст. 2 Модельного закона «Основы законодательства об антикоррупционной политике», относятся следующие противоправные, виновные действия (бездействие), за которые предусмотрена административная ответственность в Кодексе Российской Федерации об административных правонарушениях: вмешательство в работу избирательной комиссии; подкуп избирателей или участников референдума; непредоставление или неопубликование отчета, сведений о поступлении и расходовании средств, выделенных на подготовку и проведение выборов, референдума; незаконное использование денежных средств кандидатом, зарегистрированным кандидатом, избирательным объединением, избирательным блоком, инициативной группой по проведению референдума; использование незаконной материальной поддержки кандидатом, зарегистрированным кандидатом, избирательным объединением, избирательным блоком, инициативной группой по проведению референдума; финансирование избирательной кампании, проведения референдума помимо избирательных фондов, фондов для участия в референдуме и оказание иной запрещенной законом материальной поддержки; нецелевое

использование бюджетных средств; использование служебной информации на рынке ценных бумаг; а также в нормативных правовых актах субъектов Российской Федерации, устанавливающими административную ответственность за коррупционные правонарушения.

Вместе с тем вопрос о выделении административных коррупционных правонарушений остается открытым, единого мнения по данной проблеме нет. Исключение составляют лишь ст. 19.28 и 19.29 КоАП РФ, которые введены в КоАП РФ в связи с ратификацией Конвенции ООН против коррупции и принятием Модельного закона.

Ряд исследователей предлагает административные коррупционные правонарушения разделить на следующие группы:

1) правонарушения коррупционной направленности, ответственность за совершение которых предусмотрена в КоАП РФ;

2) правонарушения коррупционной направленности, ответственность за совершение которых предусмотрена в порядке дисциплинарной ответственности.

На основе анализа диспозиций статей КоАП РФ к правонарушениям коррупционной направленности кроме ст. 19.28 и 19.29 можно отнести:

1) ст. 5.16 «Подкуп избирателей, участников референдума либо осуществление в период избирательной кампании, кампании референдума благотворительной деятельности с нарушением законодательства о выборах и референдумах»;

2) ст. 5.17 «Непредставление или неопубликование отчета, сведений о поступлении и расходовании средств, выделенных на подготовку и проведение выборов, референдума»;

3) ст. 5.20 «Незаконное финансирование избирательной кампании кандидата, избирательного объединения, кампании референдума, оказание запрещенной законом материальной поддержки, связанные с проведением выборов, референдума выполнение работ, оказание услуг, реализация товаров бесплатно или по необоснованно заниженным (завышенным) расценкам»;

4) ст. 5.45 «Использование преимуществ должностного или служебного положения в период избирательной кампании, кампании референдума»;

5) ст. 5.47 «Сбор подписей избирателей, участников референдума в запрещенных местах, а также сбор подписей лицами, которым участие в этом запрещено федеральным законом»;

6) ст. 5.48 «Нарушение прав зарегистрированных кандидатов, избирательных объединений, инициативных групп по проведению референдума, иных групп участников референдума при выделении площадей для размещения агитационных материалов»;

7) ст. 5.50 «Нарушение правил перечисления средств, внесенных в избирательный фонд, фонд референдума»;

8) ст. 5.52 «Невыполнение уполномоченным лицом требований законодательства о выборах об обеспечении кандидатам, избирательным объединениям равных условий для проведения агитационных публичных мероприятий»;

9) ст. 7.27 «Мелкое хищение» (в случае совершения соответствующего действия путем присвоения или растраты);

10) ст. 7.29 «Несоблюдение требований законодательства Российской Федерации о контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд при принятии решения о способе и об условиях определения поставщика (подрядчика, исполнителя)»;

11) ст. 7.30 «Нарушение порядка осуществления закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»;

12) ст. 7.31 «Нарушение порядка ведения реестра контрактов, заключенных заказчиками, реестра контрактов, содержащего сведения, составляющие государственную тайну, реестра недобросовестных поставщиков (подрядчиков, исполнителей)»;

13) ст. 7.31.1 «Нарушение порядка и (или) сроков возврата денежных средств, внесенных в качестве обеспечения заявок на участие в определении поставщика (подрядчика, исполнителя), порядка и (или) сроков блокирования операций по счету участника закупки, порядка

ведения реестра участников электронного аукциона, получивших аккредитацию на электронной площадке, правил документооборота при проведении электронного аукциона, приглашение оператором электронной площадки, должностным лицом оператора электронной площадки информации об участнике закупки до подведения результатов электронного аукциона»;

14) ст. 14.9 «Ограничение конкуренции органами власти, органами местного самоуправления»;

15) ст. 15.14 «Нецелевое использование бюджетных средств»;

16) ст. 15.21 «Неправомерное использование инсайдерской информации» [9].

Однако, с позиции С.К. Илий, отнесение вышеперечисленных составов административных правонарушений к числу коррупционных в большинстве случаев условно. Следует учитывать, что для коррупции характерно не всякое незаконное использование служебного положения, но лишь обусловленное корыстной мотивацией, получением благ и преимуществ. Поскольку установление мотива в квалификации административных правонарушений роли не играет, достижение точности в вопросе отнесения того или иного правонарушения к числу коррупционных весьма проблематично. Для разрешения этой ситуации, возможно, следует по примеру некоторых государств – участников СНГ выделить в КоАП РФ отдельную главу, посвященную административным коррупционным правонарушениям [10].

Так, например, Кодекс Республики Казахстан об административных правонарушениях от 05.07.2014 № 235-V ЗРК (в редакции Закона Республики Казахстан от 06.05.2017 № 63-VI «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам коллекторской деятельности») предусматривает отдельную гл. 34 «Административные коррупционные правонарушения» (ст. 676-681), в которую включены следующие составы: предоставление незаконного материального вознаграждения физическими лицами, получение незаконного материального вознаграждения лицом, уполномоченным на выполнение государственных функций, либо приравненным к нему лицом, предоставление незаконного материального вознаграждения юридическими лицами, осуществление незаконной предпринимательской деятельности и получение незаконных доходов государственными органами и органами местного самоуправления, непринятие руководителями государственных органов мер по противодействию коррупции, принятие на работу лиц, ранее совершивших коррупционное преступление.

Вместе с тем отмечает С.К. Илий, нельзя исключить вероятность того, что помимо предложенных составов существуют и другие правонарушения, содержащие коррупционную составляющую. Однако их перечень весьма условен. Поэтому к расширению перечня административных правонарушений коррупционной направленности следует относиться взвешенно [10].

Согласованную позицию по вопросу о систематизации административных коррупционных правонарушений занимают и другие исследователи. Так, А.С. Квитчук, А.М. Хмара отмечают [11], что международный опыт борьбы с коррупцией свидетельствует об активном развитии в национальных законодательствах норм, устанавливающих административную ответственность за административные правонарушения коррупционного характера, о приоритете профилактических мер перед мерами уголовной ответственности. Однако нормам административного законодательства Российской Федерации как действенному механизму борьбы с коррупцией уделяется пока еще недостаточно внимания. Анализ содержащихся в КоАП РФ норм, предусматривающих ответственность за правонарушения коррупционного характера, позволяет сделать вывод, что включенные в него составы коррупционных правонарушений размещены в различных главах Особенной части КоАП РФ, чем затрудняется возможность их правоприменения.

Нельзя не согласиться с предложениями указанных авторов в целях эффективности борьбы с коррупцией в России предусмотреть в Особенной части КоАП РФ самостоятельную главу «Коррупционные правонарушения», включив в нее имеющиеся составы администра-

тивных правонарушений коррупционной направленности, за которые предусмотрена ответственность государственных и муниципальных служащих [11].

Закрепление составов административных правонарушений коррупционного характера в КоАП РФ является одним из перспективных направлений совершенствования правового регулирования в области борьбы с коррупцией. В таком случае у законодателя появится реальная возможность усилить защиту интересов государственной власти и государственной службы от коррупционных проявлений со стороны недобросовестных граждан.

Авторы считают таковыми прежде всего гражданско-правовые коррупционные деликты – обладающие признаками коррупции и не являющиеся преступлениями нарушения правил дарения, предусмотренных гл. 32 Гражданского кодекса Российской Федерации, а также нарушения порядка предоставления услуг, предусмотренных гл. 39 Гражданского кодекса Российской Федерации.

Например, ст. 575 ГК РФ содержит запрет на дарение, за исключением обычных подарков, стоимость которых не превышает трех тысяч рублей, государственным служащим в связи с их должностным положением или в связи с исполнением ими служебных обязанностей.

Подарки, полученные гражданским служащим в связи с протокольными мероприятиями, со служебными командировками и с другими официальными мероприятиями, и стоимость которых не превышает трех тысяч рублей, признаются федеральной собственностью и собственностью субъекта РФ и передаются гражданским служащим по акту в государственный орган, в котором он замещает должность гражданской службы.

Для целей применения мер гражданско-правовой ответственности нужно учитывать, что по общему правилу, предусмотренному п. 1 ст. 401 ГК РФ, такая ответственность наступает при наличии вины (умысла или неосторожности) лица, не исполнившего обязательство, либо исполнившего его ненадлежащим образом, кроме случаев, когда законом или договором предусмотрены иные основания ответственности.

В ст. 35 Конвенции ООН о противодействии коррупции закреплено, что каждое Государство-участник принимает такие меры, какие могут потребоваться в соответствии с принципами его внутреннего законодательства для обеспечения того, чтобы юридические или физические лица, которые понесли ущерб в результате какого-либо коррупционного деяния, имели право возбудить производство в отношении лиц, несущих ответственность за этот ущерб, для получения компенсации.

Ст. 13 Модельного закона «Основы законодательства об антикоррупционной политике» определяет, что:

- вред, причиненный коррупционными правонарушениями, подлежит возмещению в соответствии с законодательством государства;
- вред, причиненный коррупционными правонарушениями лиц, замещающих государственные должности либо должности государственной или муниципальной службы, подлежит возмещению из соответствующей казны в порядке, предусмотренном гражданским законодательством;
- вред, причиненный гражданам государства, учреждениям и организациям коррупционными правонарушениями лиц, обладающих публичным статусом в зарубежных и международных организациях, подлежит возмещению в соответствии с международными правовыми нормами, в том числе международными договорами государства;
- при возмещении вреда, причиненного коррупционными правонарушениями, учитывается моральный вред.

Дисциплинарные коррупционные проступки – это обладающие признаками коррупции и не являющиеся преступлениями или административными правонарушениями служебные нарушения, за которые установлена дисциплинарная ответственность [8].

В Рекомендациях по совершенствованию законодательства государств-участников СНГ в сфере противодействия коррупции (приняты в г. Санкт-Петербурге 23.11.2012 постановлением 38-17 на 38-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-

участников СНГ) отмечено, что в законодательстве государства в сфере регулирования государственной и муниципальной службы, а также приравненной к ним службы, в законодательстве об административных правонарушениях в соответствии с международными стандартами должны быть определены перечни дисциплинарных проступков, носящих коррупционный характер, совершаемых лицами, уполномоченными на выполнение государственных функций и предоставление государственных услуг, или приравненными к ним лицами.

Основными критериями отнесения дисциплинарных проступков к проступкам, создающим условия для совершения коррупционных правонарушений, является получение лицами, уполномоченными на выполнение государственных функций и предоставление государственных услуг, или приравненными к ним лицами какой-либо выгоды от использования своего служебного положения, осуществляемого с нарушением действующего законодательства, приносящего ущерб государственным, муниципальным и общественным интересам, выражающегося в снижении уровня исполнительской дисциплины в системе органов государственной власти и местного самоуправления, а также в деятельности их должностных лиц.

Дисциплинарная ответственность – вид юридической ответственности, одна из правовых форм воздействия на нарушителей трудовой и служебной дисциплины, заключается в наложении дисциплинарных взысканий. Различают два вида дисциплинарной ответственности: общую и специальную. Общая дисциплинарная ответственность регламентирована ст. 192–194 ТК РФ и правилами внутреннего трудового распорядка конкретной организации. Специальную дисциплинарную ответственность несут отдельные категории работников, служащих по уставам и положениям о дисциплине, а также согласно специальному законодательству.

В рамках деятельности Межгосударственного совета по противодействию коррупции подписано Соглашение о сотрудничестве генеральных прокуратур (прокуратур) государств - участников Содружества Независимых Государств в борьбе с коррупцией (Астана, 25.04.2007), в ст. 2 которого дано определение коррупционного правонарушения (не влекущее уголовной ответственности нарушение существующего порядка несения службы и исполнения своих профессиональных обязанностей, допущенное лицами, которые национальным законодательством государств Сторон отнесены к категории должностных лиц или приравненных к ним, если такое нарушение содержит признаки коррупции, а равно невыполнение ими запретов, правил, установленных национальными нормативными правовыми актами).

При этом указанная статья Соглашения оставляет список коррупционных правонарушений «открытым», относя к ним любое незаконное использование физическим лицом своего должностного положения вопреки законным интересам общества и государства в целях получения выгоды в виде денег, ценностей, иного имущества или услуг имущественного характера, иных имущественных прав для себя или для третьих лиц либо незаконное предоставление такой выгоды указанному лицу другими физическими лицами.

В условиях Вооруженных сил Российской Федерации острота проблемы ответственности военнослужащих за коррупционные правонарушения определяется особой исключительностью выполняемых задач по защите Отечества и, соответственно, особенностями правового статуса военнослужащих и спецификой военно-правовых норм. Малейшее нарушение порядка военно-служебных отношений может отрицательно сказаться на боеспособности воинских частей и соединений и в конечном счете нанести ущерб обороноспособности государства.

С учетом изложенного под коррупционным правонарушением понимается противоправное виновное деяние (действия или бездействие), связанное со злоупотреблением должностным лицом своим статусом или полномочиями в целях получения преимуществ материального или нематериального характера вопреки интересам государства и общества, а

также нарушением нормативно установленных правил и процедур, предназначенных для предупреждения коррупции.

Использование настоящей статьи в ходе профессиональной подготовки курсантов образовательных организаций Минобороны России несомненно будет способствовать формированию правовой культуры офицерских кадров, а также укреплению законности и правопорядка в воинских частях и учреждениях.

Список используемых источников

1. О противодействии коррупции: федеральный закон от 25.12.2008 № 273-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 52 (часть I), ст. 6228.
2. О воинской обязанности и военной службе: федеральный закон от 28.03.1998 № 53-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1998. – № 13 (часть I), ст. 1475.
3. *Рарог А.И.* Вина и квалификация преступлений. – М., 1982. – С. 8.
4. Противодействие коррупции в военной организации государства / под общ. ред. А.В. Кудашкина. – М.: За права военнослужащих, 2012. – С. 47.
5. *Морозова Л.А.* Теория государства и права: учебник. – М.: Эксмо, 2007. – С. 364.
6. *Пленкин Н.А.* Коррупционные правонарушения и ответственность военнослужащих // Военное право. – 2013. – № 4.
7. *Козлов Т.Л.* Коррупционные правонарушения на военной службе: понятие и классификация // Военное право. – 2012. – № 2.
8. Основы законодательства об антикоррупционной политике: модельный закон. Принят в г. Санкт-Петербурге 15.11.2003 Постановлением 22-15 на 22-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ // Информационный бюллетень. Межпарламентская Ассамблея государств-участников Содружества Независимых Государств. – 2004. – № 33.
9. Правовая природа коррупционного нарушения и меры юридической ответственности, применяемой за его совершение: методические рекомендации, разработанные ФГКОУ ВПО «Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации». – URL: [https://57.мвд.рф/upload/site59/document_file/PRAVOVAYa_PRIRODA_KORRUPCI ONNOGO_NARUSHENIYa_V-SI_\(1\).doc](https://57.мвд.рф/upload/site59/document_file/PRAVOVAYa_PRIRODA_KORRUPCI ONNOGO_NARUSHENIYa_V-SI_(1).doc) (дата обращения: 24.01.2019).
10. *Илий С.К.* Административные правонарушения коррупционной направленности. – URL: <http://отрасли-права.рф/article/10924> (дата обращения: 24.01.2019).
11. *Квитчук А.С., Хмара А.М.* Административная ответственность за коррупционные правонарушения // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2014. – Вып. № 2 (62). – С. 56–61 // URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/administrativnaya-otvetstvennost-zakorrupcionnye-pravonarusheniya-1.pdf> (дата обращения: 24.01.2019).

Vaganov A.A., Onufrej A.Y., Neelova O.N. Model of the orbital constellation of micro-spacecraft for disaster monitoring // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 7–17.

The paper presents a model that allows to calculate the bandwidth of the continuous review of the spacecraft (SC) remote sensing of the Earth (ERS), depending on the altitude of the orbit and the angle of view, as well as the required number of SC for the global continuous review of the orbital group (OG) operational emergency detection (ES). The algorithm for calculating the probability of emergency detection is described. There are requirements to the communication system.

Key words: spacecraft, orbital parameters, on-Board optical-electronic apparatus, the monitoring of emergency situations.

Zhigulin Y.A., Romanov A.V., Sugak V.P. Tasks of special purpose automated systems stability complex research // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 18–27.

From the point of view of the system approach, one of the most important properties of complex systems is considered – the stability of their functioning. The main problematic issues of the complex study of sustainability are noted. The possible ways of formalization of the concept of stability in relation to the automated control systems for special purposes are proposed, the methods of evaluation and assessment of the required levels of stability are developed.

Key words: complex system, perturbing effects, stability, Lyapunov functions, control cycle, life cycle, software-algorithmic methods.

Zikov D.D., Kuzmin V.N., Malugin A.V. Analysis and formalization of the principles of decision-making on the use of forces and means of combating the aerospace enemy // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 28–35.

Complexity of such political phenomenon as war does not allow commanders of all degrees to use the principles as the dogmatic set of rules, which is guaranteed providing achievement of a victory in a specific conditions of a situation. They serve in a role of the general leading directions, allowing to estimate possible process of events. Relative independence of the principles at a stage of their identification and a formulation has to pass integrally in their close interrelation at a stage of a practical uses. Any of these principles should not be considered in a separation from others. These principles are not comprehensive, but they provide a basis for rationalization of process of development of the relevant decisions.

Key words: principles, decision-making, use of forces and tools, aerospace enemy.

Maksimov V.A., Shushakov A.O. An Algorithm of Heterogeneous Storage Systems Constructing and Management, Based on Combining of Different Importance Data Placement and Coding // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 36–46.

In article proposed approach to the construction and application of onboard storage system based on heterogeneous storage units in order to increasing systems of information processing fault tolerance.

Applying of heterogeneous storage units enables flexible management of the storage and can reduce the degree of information redundancy. Although this approach enables flexible management of system parameters.

The novelty of this work lies in taking into account the heterogeneity of the importance of the stored data.

Key words: storage systems, heterogeneity, distribution, fault tolerance, correctness, remote sensing of the Earth, regenerating coding.

Anan'ev A.V., Goncharenko V.I., Lutin V.I. Automatic guidance systems construction of unmanned aerial vehicles with application of target observation results observation by various sensors // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 47–57.

Singularity of the automatic induction task of small range unmanned aerial vehicles is presence of counteraction conditions and possibility absence of satellite navigation and terrestrial markers usage. For its decision non-linear filtration theory application of the conditional Markov processes is offered, and the quasi linear algorithm of unmanned aerial vehicle automatic induction is synthesized. On the basis of the received Gauss approximation algorithm potential possibilities on tracking automatic accuracy multi-channel complexed sensors system are installed. With usage of the developed theoretical proposition the observations results join method in different ranges waves of own and reflected radiations is defined. The method of the Stratonovich equation decision for a joint filtration is offered at not equi probable discrete parameters, different by rational representation of passage probabilities for the discrete parameters.

Key words: integration of observations result, automatic tracking, tracking accuracy, nonlinear filtering, likelihood ratio, target detection probability, navigation

Zinnurov S.H., Kovalsky A.A., Ushanev K.V. Simulation model and algorithm of adaptive reservation of the channel resource of the spacecraft of communication at service of the non-stationary traffic taking into account the delay in management // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 58–67.

In article problems of adaptive reservation of a channel resource of the spacecraft of communication in the form of a problem of non-linear programming are formulated and the example of its decision at service of the non-stationary flow of messages created by group of speech subscribers is given. As model of the non-stationary flow of messages originated by speech subscribers taking into account suppression of a record in pauses the simulation model based on Matlab/Simulink/SimEvents, together with the interactive building tool of the difficult Stateflow models is used. The simulation model of adaptive reservation of a channel resource of the spacecraft of communication at service of a non-stationary traffic taking into account a delay in management is developed. The algorithm of adaptive connection of alternative channels of communication at buffer overflow of the telecommunication device for the purpose of ensuring required service quality of information flows is developed.

Key words: the communication spacecraft, adaptive reservations, a channel resource, the terrestrial station, a simulation model, management with a delay.

Kovalsky A.A., Mitryaev G.A., Novikov E.A. Optimum planning of the radio resource of the satellite communication system for the organization of steady management of orbital grouping of spacecrafts // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 68–76.

In article the satellite communication system of the Main test space center is considered. The analysis of the elements which are its part, their problems, backbone components, and also the used technologies of communication is carried out. Mathematical modeling of accomplishment of communication sessions is carried out. Problem definition of optimum planning and operational distribution of a radio resource of the satellite communication system for the organization of steady management of orbital grouping of spacecrafts is formulated. As a method of the solution of an objective approach on the basis of the maximum principle of L. S. Pontryagin is selected.

Key words: satellite communication system, optimum planning of communication sessions, operational distribution of a radio resource, maximum principle of L. S. Pontryagin.

Pimenov V.F., Popov A.S. Research of efficiency of optimum space selection of interferences in linear antenna array by minimum of least-mean-squares (LMS) criterion // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 77–83.

The article contains results of computing experiment on research of characteristics of optimum space selection of uncorrelated hindrances are given in linear equidistant antenna array in view of criterion of a minimum of a least-mean-squares (LMS) of an output signal from reference in satellite communication channels, navigation and radar systems.

Key words: adaptive antenna arrays, premeditated radio interference, resistance to interference, noise cutoff coefficient, vector of weighting coefficients of an antenna grid.

Topchy P.N., Harchenko A.V. The algorithm for determining the correlation matrix of the interfering effect based on a sequential transformation of the basis signal processing // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 84–90.

The article describes the algorithm of signal processing in radio-electronic systems, operating in conditions of non-white interfering influences. The suggested algorithm solves the problem of forming a correlation matrix of influences interfering the radio reception. This knowledge is necessary for optimal processing based on calculating its eigenvalues and eigenvectors. The algorithm is based on a sequential dimension reduction of the basis vector representation that consists of the useful signal, noise and interfering effect.

Key words: correlation matrix of the interference, eigenvalue, eigenvector, interfering effect, interference.

Kharchenko A.V., Yakimov V.L. Processing telemetric information method in spacecraft on-board dynamic systems phase space // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 91–101.

The method of telemetric information primary processing of providing an increase in the reliability of telemetry values is proposed. The method is based on use of telemetry parameters changing models in the projections of spacecraft onboard dynamic systems phase space, the set of optimal linear filters and the stochastic optimization of forming filters parameters. The results of method applying for processing small spacecraft telemetry parameters are presented.

Key words: spacecraft, telemetric parameter, phase space, optimal linear filter.

Harchenko A.V., Yashkov S.A. The algorithm of threshold choice when noise-signals processing with compensation of the sliding frequency of harmonic interference based on discrete wavelet-transformation // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 102–109.

A generalized scheme and description of the processing of phase-shifted noise-signals with interference compensation based on the wavelet transform are presented. A mathematically formalized description of the discrete wavelet transform basis choice is given for localizing interference in the compensation scheme and threshold processing of wavelet coefficients using the Stein risk criterion. The results of simulation modeling of the process of receiving and processing noise-signals under the influence of harmonic-frequency-sliding frequency are presented, taking into account its compensation and the use of threshold processing of wavelet coefficients.

Key words: interference compensation, signal processing, discrete wavelet transform, threshold processing, wavelet coefficients, Stein risk criterion.

Basics of the concept of geodetic support of aerodromes of state aviation / V.F. Alekseev, V.Y. Andrievskaya, A.G. Osipov, A.V. Prokofjev // Proceedings of the Military Space academy named

after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 110–114.

The basic principles of geodetic support of airfields of state aviation are formulated. Proposed by the method of satellite geodesy to create a high-precision geodetic reference network of the aerodrome, and further on its basis to develop filming networks. A reliable control of the received geodetic information is proposed to ensure the convergence of the results of mathematical processing of satellite and traditional measurements.

Key words: concept, aerodrome, geodetic support, state aviation, accuracy, efficiency.

Method of creating synthetic maps of the operational and tactical properties of the terrain using geoinformation systems / V.F. Alekseev, A.G. Osipov, A.V. Prokofjev, V.A. Telesch // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 115–120

Scientific and methodological approaches to the creation of synthetic maps of the operational and tactical properties of the terrain are outlined in the GIS environment, the essence of which lies in the convolution of the aggregate of analyzed indicators to show the objects of mapping as a whole.

Key words: operational-tactical property of the terrain, synthetic map, geoinformation system, multiparametric convolution of information.

Alekseev V.F, Stanislavičius R.-B.B. Prokofjev A.V. Development of the concept of metrology in the implementation of geodesic activity // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 121–124.

Accuracy and reliability of measurements of various parameters and characteristics for topographic and navigational support of troops is a necessary condition for the use of maneuverable and precision weapons systems, the joint application of various systems of weapons and military equipment, and the management of large groupings of dissimilar forces. To meet the current changes in military affairs, modern, scientifically sound terminology is necessary. Geodesic and cartographic activities are located at the intersection of the legal fields of the Law of the Russian Federation "On Geodesy and Cartography" regulating legal relations in the field of geodetic and cartographic activities, the Law of the Russian Federation "On ensuring the uniformity of measurements", relating to the field of distribution of state metrological supervision and the order of the Minister of Defense of the Russian Federation No. 3750 dated December 19, 2012 for metrological support of the Armed Forces of the Russian Federation. At the present stage of the development of military affairs, the requirements for ensuring the uniformity of measurements have significantly increased.

Key words: geodetic measurements, normal distribution of measurement results, mean square error, standard deviation, selective standard deviation, measurement uncertainty.

Measuring of time parameters of signals of radar stations on their frequency-time transformation on the basis of morphological algorithms / D.A. Voynov, S.M. Gursky, K.V. Sazonov, V.V. Utkin // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 125–132.

An approach to the measurement of time parameters of radar signals in the means of radio engineering monitoring on the basis of morphological processing of the results of time-frequency conversion is presented. The developed simulation model implementing this approach is described. A graph of the dependence of the accuracy of estimating the duration of a probing complex signal with linear frequency modulation on the signal-to-noise ratio is presented.

Key words: radar, radar monitoring, wavelet filtering, and morphological processing.

Danilyuk A.S., Medvedev V.M., Sazonov K.V. Estimation of the zone size of possible objects occurrence with loss of actual contact with them // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 133–141.

The paper is dedicated to the approach to localization of zones of finding of mobile objects of the limited intervals of supervision over their activity

Key words: object of mobile, zone of possible presence of an object, zone of uncertain presence of an object.

Gnidko K.O., Makarov S.A., Sergeev A.S. Substantiation of building an intellectual system for supporting decision-making in order to identify negative information and psychological impact on the students of educational organizations of the Ministry of Defense of Russia and protection from it // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 142–147.

The model of constructing an intellectual system for supporting decision-making is proposed in order to identify negative information and psychological impact on the students of educational organizations of the Ministry of Defense of Russia and protection against it in conditions of using low various sources of entrenched information, low models and methods with the solution of weakly structured problems.

Key words: intellectual decision support system, knowledge base, information and psychological impact, students.

Platonov A.A., Psaryov A.A. Approach to identifying program defects based on mutually complementing semantics // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 148–157.

The article proposes an approach to the detection of program defects based on the use of the model of complementary semantics. The model is created by sequentially transforming the source code of the programs from the syntactic tree to the abstract semantic graph and mapping these representations into an automaton model, a production system and a formal grammar. This allows you to create unified signatures of program defects using these formal devices.

Key words: software, program model, formal grammar, production system, automatic model, algebraic programming, equivalence of programs, program completeness.

Romanchenko A.M. Use of information entropy in information type recognition tasks // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 158–162.

In this paper, an indicator has been developed and presented on the basis of information entropy intended for recognizing data of various types. The substantiation of its effectiveness in comparison with classical entropy has been performed. A method for its practical application for detecting malicious software code embedded in interpreted text files using the example of the html format is proposed.

Key words: entropy, measure of symbolic diversity, clustering, virus detection.

Zikov D.D., Matveev A.A., Khalikov E.M. Methodology for forming the ballistic structure of orbital grouping of space appliances for the lighting of the situation in the Arctic // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 163–166.

The problem of information support of the Arctic in the part of implementing communication systems using spacecraft is formulated. An approach to the formation of the structure of the orbital constellation of a continuous and periodic review of a given region.

Key words Arctic, orbital grouping, transmission of information, frequency of service.

Timofeev V.V., Zubrin V.G. Strategy for the use of spare parts of computer systems for military purposes // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 167–172.

Considered two strategies of parts of the computing system of ground automated control complex. The first strategy replacement parts are used as failure (failure) the corresponding component parts of the computing system. The second strategy spare parts and corresponding component parts of the computing system used in the process of operation alternately. It is shown that the strategy are distinguishable only for nonexponential distributions of uptime elements and parts of a computer system, that is, for distributions with “memory”. It is proved that under certain conditions the second strategy from the point of reliability is preferable to the first.

Key words: spare parts, SID, strategy, reliability, redundancy, probability of failure, distribution law, distribution density, convolution of densities.

Evaluation of the accuracy characteristics of determining the coordinates of a space object using onboard optical-electronic means of spacecraft monitoring the situation in space / V.N. Arsenyev, S.Y. Baluyev, E.N. Belikhin, A.A. Yadrenkin // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 173–179.

The article deals with the problem of estimating the characteristics of the accuracy of determining the orbit parameters of the observed space object from the data of angular measurements obtained with the help of onboard opto-electronic means of spacecraft-meters included in the space segment of the space system. The dependences of the error in determining the coordinates of a space object on the parameters of onboard optoelectronic means for different measurement conditions are obtained.

Key words: space object, the spacecraft-meter, optical-electronic devices, the triangulation method the accuracy of determination of orbital parameters.

Models of expert-analytical forecasting of the risk of operation of complexes of refueling of space rocket with fuzzy estimates of failure probabilities and damage / E.V. Basotin, S.V. Zagorniy, A.N. Mironov, O.L. Shestopalova // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 180–183.

The publication discusses the task of improving models for assessing risk indicators for the operation of FCS filling complexes in conditions of uncertainty related to estimates of failure rates and the magnitude of damage. It is shown that in the conditions of uncertainty associated with limited volumes of the initial statistical information traditional statistical models of risk assessment are difficult to apply. The article describes the proposed complex of mathematical models using fuzzy estimates of the probabilities of failures and damage.

Key words: operational safety, risk, average expected damage, probability of failure-free operation, uncertainty, fuzzy.

Burmistrov V.V., Zotkin M.Y., Mironov V.I. The calculation of the terminal control program an angular sweep of a space robot by the criterion of minimum fuel consumption // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 184–191.

Abstract: We consider the problem of calculation the terminal control program of the control angle reversal dynamically assymetrico space robot, which implements the prospective control free trajectories for the angular motion though three channels simultaneously at a minimum cost of the working fluid governors of jet engines. The results of numerical simulations showing the feasibility of the developed algorithm.

Key words: Space robot, the method of the approached correcting operator, the maximum principle of L.S. Ponryagin.

Vedernikov M.V., Kazimirov A.V., Lyashevsky A.V. To determine the operating parameters of a three-zone thermochemical neutralizer // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 192–196.

To improve the environmental performance of RSC, it is advisable to use three-zone thermochemical neutralizers. To carry out design calculations of the chamber of such a device, it is necessary to know the temperature of the neutralization products in it. This temperature will depend on a number of parameters: the composition of the substances to be neutralized, the type of fuel used, and so on. This article presents a method for calculating the temperature in the chamber of a three-zone thermochemical neutralizer and the coefficient of excess air.

Key words: propellant components, asymmetric dimethylhydrazine, kerosene, oxidizer excess ratio, neutralization, combustion products.

Guzenko V.L., Kovalsky A.A., Palgunov V.Y. Technique of prolongation of the resource of antenna systems of ground stations of a measuring complex of the spaceport // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 197–207.

In article questions of development of technique of justification of opportunity and the terms of extension quoted indicators of service life of the antenna systems (AS) of the ground stations (GS) of the measuring complex of the spaceport (MCS) are considered.

The purpose of researches consists in development scientific and methodical providing for justification of opportunity and terms of extension of IKK quoted service life indicators the AS GS MCS on actual state taking into account the limited volume of basic data about reliability of element base and opportunities of recovery of refusals.

Use of the scientific and methodical device offered in article will allow to increase validity of decisions on management of operation the AS GS MCS, to provide their reliable and safe functioning at economy material and funds.

Key words: assessment of technical condition, forecasting of residual resource, extension of the appointed service life indicators, antenna system, measuring complex of the spaceport

Kalabin P.V., Sasunkevich A.A., Fominov I.V. Analysis of the influence of errors in the formation of the initial relative parameters of the motion of a service space robot on the trajectory of a passive periodic flight of a non-cooperative satellite // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 208–217.

The article presents the results of numerical studies of the influence of errors in the formation of the relative parameters of the service space robot on the parameters of the trajectory of the periodic flight of the non-cooperative satellite. Analytical solutions, which are initial for the description of periodic flight by the space robot of the serviced non-cooperative satellite, are given. The graphs of flight trajectories change depending on the errors of initial relative parameters of the space robot motion at a given point are presented. Evaluated the possibility of implementing passive flyby space robot non-cooperative satellite, located on an elliptical orbit.

Key words: space robot, non-cooperative satellite, passive periodic flight, errors in the formation of the initial relative motion parameters.

Influence of the deformations of a large-static stationary phase antennal lattice on the position of a diagnostic diagram / N.A. Kozlov, A.V. Prokofjev, E.A. Ragimov, D.V. Sergeev // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 218–222.

An approach to the estimation of the effect of the deviations of the elements of a linear antenna array on the position of the antenna directivity diagram is presented. An approach to the methodical elimination of the errors in scanning the antenna pattern caused by deformations of the phased array antenna design is presented.

Key words: phased array, deformations, position of the radiation pattern.

Research of degree of blackness of surfaces of various materials and influence on it of temperature of surfaces / V.M. Zaharov, I.V. Naumchik, M.M. Penkov, L.A. Sirtsov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 223–229.

In given article the way of definition of degree of blackness of surfaces of the various metals, based on use of balance parities of radiated energy is considered. The created installation can be used for exact definition of degree of blackness of surfaces of firm bodies in a wide interval of temperatures and the subsequent definition of temperature dependence of degree of blackness taking into account features of physical properties of samples.

Key words: thermal radiation, blackness degree, temperature, experimental installation.

Slatov S.V., Trofimov I.A. Methodology for forming the ballistic structure of orbital grouping of space appliances for the lighting of the situation in the arctic // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 230–235.

The article deals with periodic regimes in nonlinear systems, their application in accelerometers of the spacecraft motion control system. The conditions of existence of periodic regimes for second order systems are found.

Key words: accelerometer, motion control system, periodic mode.

Bashkirchev V.P., Shalov E.V. Experience of implementation competency-based approach in pedagogical excellence forming and development of military college teacher// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 236–241.

In this paper teaching experience of organization psychological and pedagogical self-education on the example of academic staff education and specialist re-education is considered. Teachers are regarded in the excellence becoming and development periods in the implementation of the competence-based approach. Special attention is paid to individual program development to take into account qualities of specialist, guide self-education and develop pedagogical competencies, forming personal activity qualities to provide military college professionalism.

Key words: military college teacher competencies, competency-based approach implementation in military college, teacher self-educational program, teacher excellence forming and development in military college.

Brykalov G.A., Golubev M.A., Rozanova L.V. To the question of creation and use in the military educational organization of the electronic portfolio of the student // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 242–246.

The approach to the creation and use in the educational process of military educational institutions of the electronic portfolio of students as a variant of the requirements of Federal state educational standards and regulations of the Ministry of defense of the Russian Federation.

Key words: military educational institution, Federal state educational standard, electronic information and educational environment, electronic portfolio of the student.

Dugin I.M., Shalov E.V. Polyfunctionality of the process of moral education in educational institutions of the Ministry of Defense // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 247–251.

The multifunctional nature of the process of moral education in the educational institutions of the Ministry of Defense is substantiated. The anthropological functions of moral education are considered.

Key words: integrative and moral integrity, prerequisites and determinants of moral development, anthropological functions of moral education, integration educational module, subject-subject pedagogical interaction

Kasavtsev M.Y., Dulishkin R.M. Modernization of the process of training of military personnel in the preparation of daily work with the use of computer programs in everyday activities // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 252–260.

A priori assessment of the use of information technology in the preparation of the daily contract revealed the absence and relevance of the application software for the preparation of the daily contract. As a result of the study, a computer program was developed to improve the quality of training of military personnel for service as part of a daily contract for day-to-day activities.

Key words: computer program, preparation of daily work, daily activities, readiness of military personnel to serve in the dress.

Formation of readiness for pedagogical activity in a military educational institution when mastering the program of professional retraining of pedagogical workers / L.A. Inozemtseva, N.S. Kuzhikin, N.A. Repyakh, A.N. Hrustova // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 261–265.

The article deals with the actual problems of formation of readiness for pedagogical activity in the development of an additional program of professional retraining of teachers, offers specific ways and means of improving the professional and pedagogical training of military specialists appointed to the positions of teaching staff at the Academy.

Key words: readiness for pedagogical activity, motivational readiness, theoretical readiness, practical readiness, practical work, interdisciplinary practical work, individual project.

Kazahov B.D., Kolyagin D.A., Shalov E.V. Recommendations about formation at listeners and cadets of the military educational organizations of skills of analytical work at decision-making // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 266–270.

In article organizational and methodical recommendations about inculcation trained military educational institutions of skills of analytical work are offered at decision-making.

Keywords: analytical work, decision-making, logic, a support on experience

Assessment of the professional competence of a military specialist in the implementation of an additional professional program of improvement of qualification / N.B. Kunturova, D.A. Mosin, N.V. Selikhina, E.V. Shalov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 271–277.

The article describes the process of assessing the professional competence of military specialists undergoing training on additional professional advanced training programs, by calculating the coefficient of professional competence of a military specialist during the period of study. The calculations of professional competence of military specialists in the specialty "Information and analytical support of the flight operation of orbital space vehicles (spacecraft, upper stages) are given.

Key words: competencies, competence, the formation and evaluation of competence, the training of military specialists, indicators and evaluation criteria, the calculation of the coefficient of professional competence.

Selection and approbation of the software for developing and creating interactive electronic learners and training courses (modules) for preparing military specialists / A.V. Lagun, V.M. Skutnitsky, V.L. Slatov; A.V. Farafonov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 278–284.

The results of the study on the choice of software for the creation of electronic textbooks and training courses (modules) for the training of military specialists based on the analysis of modern software and electronic shells used for the development of electronic textbooks implemented in the universities of the Ministry of defense of the Russian Federation are presented.

Key words: interactive electronic textbook, software product (shell).

The concept of establishing an interagency digital educational cluster for training development and exploitation of information and communication facilities for space applications specialists / E.A. Novikov, D.A. Sevastyanov A.S. Fadeev, K.Y. Tsvetkov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 285–295.

The concept of establishing an interagency digital educational cluster for training development and exploitation of information and communication facilities for space applications specialists is presented. A review of the level of development in the field of digital education is carry out based on the analysis of the main trends in the field of digital education, the main contradictions arising from the introduction of modern digital technologies in the process of training for the Russian space industry are revealed. The goals and objectives of the digital educational complex, the chronology, the results and the effect of its implementation are formulated. Implementation of the training complex for education in practice of training of development and exploitation of information and communication space-purpose facilities specialists allowed to achieve a significant social and economic effect the field of operation of modern telecommunications facilities systems and complexes and contributes to the creation of a digital educational environment in generally.

Key words: information and communication space-purpose facilities, professional competence, digital training complex for education, methods and technologies of teaching.

Repyakh N.A., Tereshchuk S.S. Corruption offenses committed by military personnel, as a mandatory element of the formation of the legal culture in the training of officers // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2019. – Release 666. – P. 296–305.

The author has formulated the concept of a corruption offense, the use of which can be recommended to officials of the military authorities in defining offenses as corruption.

The article also discusses the classification of corruption offenses and the types of legal liability applied.

Key words: military personnel, corruption offense, responsibility.

Алексеев Виктор Фёдорович, старший научный сотрудник 16-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 217-03-39, e-mail: vfalex_vti@mail.ru

Ананьев Александр Владиславович, докторант 203-й кафедры Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" Министерства обороны Российской Федерации (394064, Россия, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А); кандидат технических наук; тел.: 8 (473) 226-46-67, e-mail: sasha303_75@mail.ru

Андриевская Виктория Юрьевна, старший научный сотрудник 162-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат физико-математических наук, доцент; тел.: 8 (921) 635-46-61, e-mail: vika75_07@mail.ru

Арсеньев Владимир Николаевич, профессор 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 262-02-22.

Балуев Сергей Юрьевич, заместитель начальника 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-25.

Басотин Евгений Викторович, начальник 1-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-10, e-mail: Basotin@yandex.ru

Башкирцев Виктор Павлович, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, Ждановская, 13); кандидат педагогических наук, доцент; тел.: 8 (911) 218-23-57, e-mail: orbitarus@mail.ru

Белихин Евгений Николаевич, адъюнкт 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-25.

Брякалов Геннадий Алексеевич, доцент 27-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-97-31.

Бурмистров Владимир Владимирович, преподаватель 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Ваганов Алексей Александрович, адъюнкт Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-10, e-mail: alexeyvaganoff@gmail.com

Ведерников Михаил Васильевич, доцент 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 347-95-18.

Войнов Дмитрий Сергеевич, адъюнкт 13-й кафедры Череповецкого высшего военного инженерного училища радиоэлектроники (162622, Россия, Череповец, пр-т Советский, 126); тел.: 8 (953) 356-89-32, e-mail: voynov-dmitriy@yandex.ru

Гнидко Константин Олегович, доктор технических наук, профессор 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (999) 532-71-82, e-mail: greeny598@gmail.com

Голубев Михаил Александрович, доцент 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-97-62.

Гончаренко Владимир Иванович, директор Военного института Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (125993, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 4); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (499) 158-17-01; ведущий научный сотрудник Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН (117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65); тел.: 8 (495) 334-89-10, e-mail: fvo@mail.ru

Гузенко Виталий Леонидович, профессор 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 969-87-83, e-mail: vlg55@yandex.ru

Гурский Сергей Михайлович, профессор 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-54, +7(921)744-13-40, +7 (921) 436-42-66, e-mail: gurskiysergey@yandex.ru, sergeygurskiy2018@yandex.ru

Данилюк Андрей Степанович, заместитель начальника 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-54.

Дугин Игорь Михайлович, доцент 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, доцент; тел.: 8 (911) 237-24-75; e-mail: duginigor@yandex.ru

Дулишкин Руслан Михайлович, начальник учебной лаборатории (Единой системы управления тактическим звеном) кафедры тактики Дальневосточного высшего общевойскового командного училища имени Маршала Советского Союза К.К. Рокоссовского (675021, Россия, Благовещенск, ул. Ленина, 158).

Жигулин Юрий Алексеевич, адъюнкт 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (951) 652-32-63.

Загорный Сергей Владимирович, старший преподаватель 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: zag.serg@mail.ru

Захаров Валерий Михайлович, курсант 165-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-18.

Зиннуров Салават Халилович, инженер лаборатории 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (981) 781-71-29, e-mail: e.s.abazina@yandex.ru

Зоткин Максим Юрьевич, преподаватель 27-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Зыков Дмитрий Дмитриевич, заместитель начальника Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (921) 949-29-40.

Иноземцева Людмила Александровна, преподаватель 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 810-62-63, e-mail: lucilia@mail.ru

Казахов Батраз Джумаевич, начальник 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (951) 664-50-26.

Казимиров Артём Витальевич, заместитель начальника 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (906) 262-32-59, e-mail: kizim2003 @rambler.ru

Калабин Павел Васильевич, адъюнкт 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-21.

Касавцев Михаил Юрьевич, старший преподаватель 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-29, e-mail: mk-spb@rambler.ru

Ковальский Александр Александрович, начальник 321-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 278-56-50, e-mail: sake636@mail.ru

Козлов Николай Аифалович, старший научный сотрудник 163-й лаборатории (научно-исследовательской) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: (911) 815-37-86, e-mail: Kna.32@yandex.ru

Колягин Дмитрий Александрович, преподаватель 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (921) 658-51-28, e-mail: etoya10@bk.ru

Кужекин Николай Сергеевич, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-96.

Кузьмин Владимир Никифорович, ведущий научный сотрудник 2-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (921) 327-32-50.

Кунтурова Надежда Борисовна, профессор 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-31, e-mail: giz26@rambler.ru

Лагун Андрей Валерьевич, доцент 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 937-09-02, e-mail: Kio@mail.ru

Лютин Владимир Иванович, доцент 203-й кафедры Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" Министерства обороны Российской Федерации (394064, Россия, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А); кандидат технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (473) 226-46-67, e-mail: sasha303_75@mail.ru

Ляшевский Александр Валерьевич, начальник 132-й лаборатории – старший научный сотрудник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-18.

Макаров Сергей Александрович, соискатель ученой степени 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 237-12-49.

Максимов Владимир Андреевич, преподаватель 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (900) 636-29-29, e-mail: falcon225@yandex.ru

Малюгин Александр Викторович, начальник 24-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (981) 861-33-54.

Матвеев Алексей Анатольевич, старший научный сотрудник 273-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-16.

Медведев Владимир Михайлович, профессор 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-57.

Миронов Андрей Николаевич, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-74, e-mail: mironov-anik@yandex.ru

Миронов Вячеслав Иванович, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Митряев Геннадий Андреевич, адъюнкт 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 717-77-10, e-mail: palgunov_vl_yur@mail.ru

Мосин Дмитрий Александрович, докторант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29, e-mail: mosin-da@mail.ru

Наумчик Игорь Васильевич, начальник 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: igornaumchik@yandex.ru

Неелова Ольга Николаевна, научный сотрудник 514-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-10, e-mail: enot512@yandex.ru

Новиков Евгений Александрович, доцент 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 218-51-19, e-mail: novikov.evg.al@gmail.com

Онугрей Андрей Юрьевич, ведущий научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-10, e-mail: onufrey_a@mail.ru

Осипов Алексей Георгиевич, доцент 72-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат географических наук; тел.: 8 (921) 588-64-35, e-mail: zoyaks@yandex.ru

Пальгунов Владимир Юрьевич, заместитель начальника учебно-методического отдела Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 255-68-05. e-mail: palgunov_vl_yur@mail.ru

Пеньков Максим Михайлович, начальник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (905) 214-92-22, e-mail: maxpen@mail.ru

Пименов Виктор Фёдорович, старший научный сотрудник 22-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (960) 280-23-77, e-mail: pimvikf@yandex.ru

Платонов Андрей Анатольевич, старший преподаватель 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-87.

Попов Александр Сергеевич, старший научный сотрудник 23-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (961) 806-26-58, e-mail: arahar@mail.ru

Прокофьев Александр Валерьевич, заместитель начальника 73-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 947-20-11, e-mail: Prokofjev_alexandr@mail.ru

Псарёв Алексей Александрович, начальник 429-го отдела военного представительства МО РФ (197110, Россия, Санкт-Петербург, ул. Пионерская, 44); тел.: 8 (812) 237-10-46.

Рагимов Эльхан Агабек-оглы, старший научный сотрудник 163-й лаборатории (научно-исследовательской) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат физико-математических наук; тел.: 8 (921) 920-08-88, e-mail: elhan_rag@mail.ru

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, доцент; тел.: 8 (911) 990-02-38, e-mail: utkinodacha@yandex.ru

Розанова Людмила Владимировна, научный сотрудник 614-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-31.

Романов Андрей Владимирович, начальник 512-й научной лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (960) 239-90-23.

Романченко Александр Михайлович, старший преподаватель 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8-(812)-347-99-53.

Сазонов Константин Викторович, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: sazonov-konstantin@yandex.ru

Сасункевич Александр Анатольевич, преподаватель 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Севастьянов Дмитрий Анатольевич, директор Департамента телекоммуникационных, измерительных и геофизических систем и комплексов федерального государственного унитарного предприятия «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры» (107996, Россия, Москва, ул. Щепкина, 42, стр. 1, 2); кандидат технических наук; тел.: 8 (495) 631-82-89, e-mail: sda@roscosmos.ru

Селихина Наталия Викторовна, старший преподаватель 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-92-78.

Сергеев Артём Сергеевич, соискатель ученой степени 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 237-12-49, e-mail: artsergeev@yandex.ru

Сергеев Дмитрий Викторович, начальник 163-й лаборатории (научно-исследовательской) – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 768-13-25, e-mail: sergeevdmitriyv@yandex.ru

Скутницкий Владислав Михайлович, начальник 1-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (921) 304-33-38, e-mail: Vladskut@yandex.ru

Слатов Валерий Леонидович, старший научный сотрудник 133-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 937-19-61, e-mail: Slatov65@mail.ru

Слатов Сергей Валерьевич, начальник 251-й учебной лаборатории 2-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-26.

Станиславичюс Римас-Бронюс Броняус, доцент 73-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 304-63-25.

Сугак Владимир Петрович, старший научный сотрудник 51-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (921) 753-06-29.

Сырцов Леонид Аркадьевич, доцент 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: sla@yandex.ru

Телеш Вадим Анатольевич, доцент 74-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 742-48-61, e-mail: assoran@yandex.ru

Терещук Сергей Сергеевич, военный прокурор отдела надзора военной прокуратуры Центрального военного округа, капитан юстиции (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (961) 786-60-87, e-mail: sergey_1_9_9_1@mail.ru

Тимофеев Владимир Васильевич, старший преподаватель 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (952) 225-08-85, e-mail: V.timofeev.53@mail.ru

Топчий Павел Николаевич, старший преподаватель 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-32, e-mail: pawel-topchy@yandex.ru

Трофимов Илья Анатольевич, доцент 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-26.

Уткин Владимир Владимирович, начальник 13-й кафедры Череповецкого высшего военного инженерного училища радиоэлектроники (162622, Россия, Череповец, пр-т Советский, 126); кандидат технических наук, доцент; тел.: +7 (911) 518-65-61, e-mail: utkinvladimir@yandex.ru

Ушанев Константин Владимирович, инженер лаборатории 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (981) 832-34-84. e-mail: palgunov_vl_yur@mail.ru

Фадеев Александр Сергеевич, генеральный директор публичного акционерного общества "Центральное научно-производственное объединение «Каскад»" (125047, Россия, Москва, ул. 1-я Брестская, 35, стр. 1); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (499) 251-69-66.

Фарафонов Александр Владимирович, начальник 133-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (921) 558-25-59, e-mail: Farik196@mail.ru

Фоминов Иван Вячеславович, начальник 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Халиков Эльдар Мавлютович, начальник 27-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук.

Харченко Александр Викторович, начальник 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-99-32, e-mail: a2124893@yandex.ru

Хрустова Алёна Николаевна, старший преподаватель 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (905) 225-88-87, e-mail: yugani@rambler.ru

Цветков Кирилл Юрьевич, начальник 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 947-19-58, e-mail: wavelet3@mail.ru

Цыбрин Владимир Григорьевич, преподаватель 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911)-966-06-27, e-mail: vlad.grigor@mail.ru

Шалонов Евгений Владимирович, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по военно-политической работе – начальник отдела (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (965) 039-46-99.

Шестопалова Ольга Львовна, декан факультета «Испытания летательных аппаратов» филиала «Восход» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (468320, Республика Казахстан, г. Байконур, пр. Гагарина, 5); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (33622) 5-14-43, e-mail: neman2004@mail.ru

Шушаков Алексей Олегович, заместитель начальника 2-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 013-85-25, e-mail: shushakovaleksei@mail.ru

Ядрёнкин Андрей Александрович, начальник 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-25.

Якимов Виктор Леонидович, докторант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-32, e-mail: yakim78@yandex.ru

Яшков Сергей Алексеевич, начальник 171-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (981) 848-74-80, e-mail: yashkov.s@inbox.ru

Алексеев Виктор Фёдорович, старший научный сотрудник 16-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 217-03-39.

Башкирцев Виктор Павлович, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук, доцент; тел.: 8 (911) 218-23-57.

Григорьев Андрей Николаевич, профессор 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-99-51.

Доронин Александр Павлович, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-52.

Еремеев Игорь Юрьевич, начальник 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 238-06-62.

Косырев Сергей Викторович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-93.

Кужекин Николай Сергеевич, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, профессор; тел.: 8 (911) 794-16-72.

Кунтурова Надежда Борисовна, профессор 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-31, e-mail: giz26@rambler.ru

Лоскутов Андрей Иванович, начальник 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-70, e-mail: rk@viek.ru

Миронов Александр Николаевич, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-13, e-mail: mironov-anik@yandex.ru

Онуфрей Андрей Юрьевич, ведущий научный сотрудник 5-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 230-28-15.

Павлов Александр Николаевич, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-62.

Паршуткин Андрей Викторович, профессор 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-35.

Пилькевич Сергей Владимирович, старший преподаватель 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-87.

Попов Александр Сергеевич, старший научный сотрудник 23-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

Сазонов Константин Викторович, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: sazonov-konstantin@yandex.ru

Смагин Владимир Александрович, профессор 75-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

Харченко Александр Викторович, начальник 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-99-32.

Чарушников Александр Валерьевич, начальник 2-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-21.