

**Труды Военно-космической  
академии имени А.Ф. Можайского**

**Выпуск 656**

2017 г.

Научное рецензируемое издание

Выходит с 1942 года

---

Издатель:

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

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

Адрес:

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

Издание зарегистрировано

Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзором).

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**

Техническая поддержка:

**Н.А. Станкевич**

Подписано к печ. 24.03.2017. Формат печатного листа 445×300/4. Уч.-печ. л. 67,00. Уч.-изд. л. 33,00

Тираж 50 экз. Заказ 3368/280. Отпечатано в типографии ВКА им. А.Ф. Можайского

**ISSN 2218-5429**

© Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Басотин Е.В., Гравченко Ю.А., Гранкин Б.К., Жиганов Е.Б., Мокан Д.О.* Решение практических задач структурно-функциональных исследований сложных технических систем с использованием кодирования графов.... 6
- Павлов А.А., Павлов А.Н., Павлов Д.А., Слинко А.А.* Комбинированный метод многокритериального выбора управленческих решений на основе моделей представления знаний и планирования эксперимента ..... 9
- Пророк В.Я., Шаймухаметов Ш.И.* Моделирование движения маневрирующих летательных аппаратов на основе нечетких искусственных нейронных сетей..... 18

### СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

- Бачевский А.С., Коновалов Д.Ю., Лабец В.В., Шаталов А.А., Шаталова В.А.* Адаптивный алгоритм распознавания сигналов, принимаемых от быстро флуктуирующих целей и целей с доплеровским рассеянием при наличии помех..... 25
- Бережной И.В., Сазонов К.В., Ступаков К.В.* Модель размещения элементов блочной памяти в конфигурационной последовательности программируемых логических интегральных схем..... 35
- Замарин А.И., Тавалинский Д.А., Цыганов А.С.* Метод выявления скрытых периодичностей цифровых информационных последовательностей в условиях приема групповых сигналов цифровых систем передачи информации..... 42

### ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Брагинец В.Ф., Жуков А.Н.* Технология высокоточного навигационно-баллистического обеспечения космических аппаратов с использованием функциональных дополнений системы ГЛОНАСС ..... 49
- Готюр И.А., Прохоренко П.А.* Модель космической системы гидрометеорологического обеспечения..... 57
- Григорашев И.Н., Кисленко К.В.* Подход к проектированию орбит тандемного движения космических объектов..... 68

<i>Кириллюк Е.В., Корянов В.В., Степанов М.Н.</i> Минимизирующие последовательности траекторий перелета космического аппарата с низкой круговой орбиты на высокоэнергетические орбиты различных типов.....	74
<b>РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ</b>	
<i>Ардашов А.А., Арсеньев В.Н., Зиновьев К.Г.</i> Линеаризация зависимости характеристик точности системы управления летательного аппарата от точностных характеристик ее измерительных устройств.....	79
<i>Ардашов А.А., Силантьев С.Б., Софьин А.П., Федорова Л.А.</i> Состояние и перспективы создания движителей космических роботов.....	85
<i>Арсеньев В.Н., Зиновьев К.Г., Силантьев С.Б.</i> Взвешенный учет априорной и опытной информации при исследовании долговечности сложных систем.....	92
<i>Белянин Д.Г., Овчинникова О.К., Пирогов С.Ю.</i> Исследование газодинамики пусковых режимов атмосферно-вакуумной аэродинамической трубы.....	97
<i>Булекбаев Д.А., Морозов А.В.</i> Расчет параметров переходного процесса в машинном агрегате с фрикционной муфтой сцепления.....	106
<i>Вишняков Е.П., Ильин А.В., Швайковский М.А.</i> Диагностика обрыва фазы воздушной линии электропередачи под напряжением.....	114
<i>Гарагуля А.С., Марынич Р.А., Соколов В.Ю.</i> Повышение эффективности применения радиоэлектронных средств управления космическими аппаратами за счет возложения функций дежурных расчетов на средства автоматизации.....	118
<i>Горский А.Н., Каргу Д.Л., Шубин Д.А.</i> Общий подход к математическому решению задач электромагнитной совместимости в цепях системы электропитания космического аппарата.....	124
<i>Грушковский П.А.</i> Алгоритм использования вибрационных параметров при диагностировании объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс.....	132
<i>Дзгоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.</i> Характерные температуры и параметры Земли, формирующие ее тепловое излучение.....	137
<i>Дзгоев А.М., Ханков С.И.</i> Методика расчета предельной мощности непрерывного излучения YAG:Nd <sup>3+</sup> - лазера на длине волны 1,06 мкм.....	144
<i>Захаров И.В., Калюжный А.В., Шушаков А.О.</i> Модель распределения рабочей нагрузки в вычислительной системе при управлении функциональной избыточностью.....	153
<i>Зубарев А.В., Карагодин В.В., Полянский К.А.</i> Совершенствование математи-	

ческой модели оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов космических войск.....	159
<i>Мандрица Д.П.</i> Оценка свойств материалов инженерных конструкций специальных сооружений.....	166
<i>Сасункевич А.А., Софьин А.П., Федорова Л.А.</i> Факторы космического пространства и защита космических роботов от внешнего воздействия.....	170
<i>Скоробогатова О.А.</i> Асимптотическое решение задачи дифракции плоской электромагнитной волны на цилиндрической структуре с импедансным покрытием.....	176
<i>Смолинский С.Н.</i> Оценка технико-экономической эффективности модернизации систем теплоснабжения с автоматизированными угольными котельными с котлами высокотемпературного кипящего слоя.....	183
<b>ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ВОЙСК</b>	
<i>Алейник В.В., Кужекин Н.С., Мышко В.В., Чикуров В.А.</i> Оценивание уровня сформированности компетенций выпускников военно-учебного заведения в ходе государственной итоговой аттестации.....	189
<i>Богук Ю.М., Голубев М.А., Кужекин Н.С.</i> Модель проектирования учебных дисциплин в военно-учебных заведениях на основе компетентностного подхода в образовании.....	198
<i>Иванова Е.И., Кукоба А.С., Яблочкин А.Б.</i> Оценка эффективности организации самостоятельной работы иностранных военнослужащих при изучении физико-математических дисциплин.....	203
<b>ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК</b>	
<i>Гуторович В.Н., Гуторович О.В.</i> Психологическая война и морально-психологическая подготовка военнослужащих: онтологический аспект....	208
<i>Латанов В.М., Лосик А.В.</i> О значении воинской и технологической дисциплины в космических частях в период их становления как самостоятельной составной части Вооруженных Сил СССР. Исторический аспект (декабрь 1981 – сентябрь 1989 гг.).....	218
<i>Огородников В.П.</i> Роль преподавателя гуманитарных дисциплин военного вуза в условиях обострения информационно-идеологической войны.....	228
<i>Репах Н.А., Хрустова А.Н.</i> Проблема войны и мира в философии русских революционных демократов.....	236
<i>Тарасов А.В., Шалонов Е.В.</i> Воинский коллектив как воспитатель военнослужащих: актуальные проблемы теории и практики.....	243

---

Рефераты статей.....	247
Сведения об авторах.....	256
Сведения о рецензентах.....	264

Е.В. Басотин,  
*кандидат техн. наук;*  
Ю.А. Гравченко,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
Б.К. Гранкин,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Е.Б. Жиганов,  
*кандидат техн. наук;*  
Д.О. Мокан,  
*кандидат техн. наук*

## РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДИРОВАНИЯ ГРАФОВ

Рассматриваются подходы к числовому кодированию графов для решения задач структурно-функциональных исследований сложных технических систем. Предложены направления решения практических задач структурно-функциональных исследований сложных технических систем с использованием кодирования графов. Обосновывается необходимость решения широкого круга практических задач структурно-функциональных исследований сложных технических систем с использованием числового кодирования графов при применении специализированного программного обеспечения, а также алгоритмов минимизации кода графа и стягивания (отождествления) вершин (ребер) графа.

Ключевые слова: граф, числовой код, каноническая матрица кодов, матрица смежности, сверхбольшие числа, структурно-функциональные исследования.

Как было установлено в предыдущих исследованиях [1–4], при решении задач синтеза структур сложных технических систем (СТС) ракетно-космической техники (РКТ); анализа процессов функционирования их подсистем, элементов и агрегатов может найти свое применение метод кодирования графов, позволяющий записать их структуру в виде одного числа и однозначно восстановить граф по его коду. Учитывая ряд неоспоримых достоинств (в части, касающейся возможностей автоматизации решения задач структурно-функциональных исследований СТС), нетрудно заметить, что метод имеет ограничения в области своего применения.

Так, при использовании формулы для определения кода полного графа  $G_{|m|}$  [4]

$$r(G_{|m|}) = 2^{\lfloor \frac{m(m-1)}{2} \rfloor} - 1. \quad (1)$$

где  $m$  – число вершин связного неориентированного графа без петель и параллельных ребер. Если  $m = 46$  и более, возникает переполнение регистра (разрядности) ПЭВМ. Учитывая, что при решении практических задач структурно-функциональных исследований (СФИ) объектов РКТ, СТС возникает необходимость построения структурной модели системы в виде графа с большим количеством вершин, целесообразно предусмотреть варианты кодирования для графов с количеством вершин более 46.

Зная, что полный граф – частный случай системы с большим количеством связей, следует отметить, что прикладное значение подобной задачи невелико. В ракетно-космической отрасли СТС, структурные модели реальных объектов, которые могли бы быть представлены в виде полного графа, практически отсутствуют. Однако рассмотрение указанного случая

весьма важно в плане определения нижней границы решения задачи кодирования по количеству вершин графа.

Очевидным решением задачи составления числового кода графа с большим количеством вершин является использование специальных алгоритмов для работы с большими числами [5]. В данном случае сверхбольшие натуральные числа [5] представляются и хранятся в памяти ЭВМ в виде связанных списков. При этом существующие алгоритмы обработки этих чисел позволяют выполнять все необходимые арифметические операции с ними. Средства для работы с большими целыми числами имеются в таких программных пакетах, как Java, C, Perl [5].

Учитывая, что получение кода графа по матрице смежности – операция с высоким потенциалом автоматизации, можно предположить, что сверхбольшое число возникнет еще на этапе получения кодов ребер.

Элементы канонической матрицы кодов  $H_{[m]}^V$  определяются соотношением

$$h_{l,n} = a_{l,n} \cdot 2^{\sum_{k=0}^{n-2} k+(l-1)}, \quad (2)$$

где  $l = 1, 2, \dots, (m - 1)$ ;  $n = 2, 3, \dots, m$ ;  $a_{l,n} = 0$ , если  $l \geq n$ , (где  $l$  – номер строки в матрице смежности;  $n$  – номер столбца). Анализируя это соотношение, можно сделать вывод, что при последовательном увеличении количества вершин в полном графе сверхбольшие числа возникнут в ячейках канонической матрицы кодов  $H_{[m]}^V$  с номером столбца, равным  $m$ , т.е. будут вычисляться по одной из формул  $2^{\sum_{k=0}^{m-2} k}$ ,  $2^{\sum_{k=0}^{m-2} k+1}$ , ...  $2^{\sum_{k=0}^{m-2} k+m-2}$ . После вычисления кода ребер канонической матрицы кодов  $H_{[m]}^V$  в столбце 46 получим результат Infinity уже в 34-й строке, что свидетельствует о необходимости обращения к специализированным классам для выполнения действий с числами, состоящими из произвольного количества цифр. Для языка программирования **Java** это классы **BigInteger** и **BigDecimal** из пакета **java.math**. Применение этих классов позволяет выполнять кодирование графа с количеством вершин в несколько десятков тысяч и более. Полученный код будет представлять собой последовательность из сотен (тысяч) цифр, что сделает его трудночитаемым для оператора и предопределяет использование специализированных методов (операторов) при программировании. Таким образом, преимущество кодирования графа, выраженное в виде компактного представления информации о графе, фактически сводится на нет. Однако для графа с большим количеством вершин возможно использовать запись кода в виде суммы слагаемых, представленных в виде  $2^{\sum_{k=0}^{n-2} k+(l-1)}$ , или применить специализированные алгоритмы для поиска минимального кода графа путем перестановки (перенумерования) его вершин. Подобные алгоритмы возможно использовать и для установления изоморфизма графов.

Целесообразно использовать кодирование графа совместно с алгоритмами стягивания (отождествления) вершин (ребер) графа с сохранением информации об удаленных вершинах (ребрах). После процедуры стягивания возможно также выполнение алгоритма минимизации кода, что открывает дополнительные возможности в области классификации и установления изоморфизма графов.

**Выводы.** Решение широкого круга практических задач структурно-функциональных исследований сложных технических систем с использованием числового кодирования графов возможно с применением специализированного программного обеспечения, а также алгоритмов минимизации кода графа и стягивания (отождествления) вершин (ребер) графа. Применение числового кодирования графов открывает дополнительные возможности в области их классификации и установления изоморфизма графов.

### Список используемых источников

1. *Гравченко Ю.А., Гранкин Б.К., Козлов В.В.* Синтез функциональной структуры систем потокораспределения в технологическом оборудовании ракетно-космической техники // 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. 94–99.
2. *Гравченко Ю.А., Гранкин Б.К., Козлов В.В.* Автоматизация синтеза функциональной структуры систем потокораспределения в технологическом оборудовании ракетно-космической техники // 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. 100–104.
3. Структурно-функциональный аспект исследования технических систем ракетно-космических комплексов / Ю.А. Гравченко, Б.К. Гранкин, В.В. Козлов, Д.О. Мокан // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2014. – Вып. 644. – С.153–156.
4. Кодирование графов для решения задач распределения и преобразования потоков / Ю.А. Гравченко, Б.К. Гранкин, И.О. Кукушкин, Д.О. Мокан // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 649. – С.23–28.
5. *Макоха А.Н., Зуй Б.Ю.* Арифметика сверхбольших натуральных чисел в параллельных вычислительных системах: реферат. – URL: <https://www.kazedu.kz/referat/97380> (дата обращения: 26.03.2017).



А.А. Павлов;  
А.Н. Павлов,  
*доктор техн. наук, доцент;*  
Д.А. Павлов;  
А.А. Слинько

## КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В статье для снятия критериальной неопределенности при выборе управленческих решений, оцениваемых лингвистически заданными показателями, предлагается использовать дополнительную информацию о предпочтениях лица, принимающего решение (ЛПР). Предпочтения ЛПР задаются продукционными правилами и обрабатываются с использованием методов теории планирования эксперимента и параметрических нечетких мер. Суть комбинированного метода состоит в совместном использовании идей вербального анализа решений (простые и сложные опорные ситуации опроса) и процедур сведения качественных показателей к количественным. Построение процедур основано на применении математического аппарата теории нечетких множеств, отношений и мер, а также теории планирования эксперимента. С целью уменьшения числа обращений к ЛПР в процессе экспертного опроса и обеспечения непротиворечивости его высказываний на множестве продукционных правил, представляющих опорные ситуации опроса, построена параметрическая нечеткая мера. Она позволяет количественно оценить предпочтения ЛПР о критериях достижения поставленной цели при выборе управленческих решений.

Ключевые слова: критериальная неопределенность, лингвистический показатель, продукционное правило, опорная ситуация опроса, теория планирования эксперимента, нечеткая мера.

### ВВЕДЕНИЕ

При разработке и принятии управленческих решений [1–4], возникающих на практике, важно правильно оценить сложившуюся ситуацию. Для этого необходимо проанализировать альтернативные варианты решений, а также учесть различные факторы неопределенности и неполноту имеющейся информации. Следует подчеркнуть, что подобного рода неопределенность вызвана неполнотой или отсутствием знаний о поведении сложного объекта, многоцелевым, многофункциональным характером задач управления таким объектом, воздействием внешних и внутренних факторов и рядом других причин.

Следует учесть, что проблемы принятия управленческих решений зачастую относятся к неструктурируемым проблемам выбора [5–9], в описаниях которых преобладают качественные факторы, а количественные зависимости между этими факторами не определены.

Требование достижения эффективного оценивания и ранжирования управленческих решений выдвигает на передний план рассмотрение задач выбора со многими отношениями предпочтения (мультипредпочтением). Прежде всего, необходимо отметить, что отношение предпочтения, как правило, является математической моделью реально существующего предпочтения ЛПР относительно определенного качества объекта. Обычно ЛПР учитывает и сопоставляет различные (как правило, противоречивые) качества объектов или событий, и, следовательно, необходимая степень адекватного представления проблемы принятия управленческих решений требует введения нескольких отношений предпочтения, учитывающих всю совокупность рассматриваемых качеств. На практике для корректного решения перечисленных проблем необходимо уметь строить математические модели многокритериального выбора и обоснованно применять для поиска рациональных альтернатив соответствующие методы и алгоритмы. Первым шагом в процессе построения указанных математических мо-

делей является их обобщенное структурно-математическое описание, которое может быть представлено в следующем виде [10, 11]:

$$\left( \{r_i\}_{i \in \Gamma}, \{\Phi^k\}_{k \in \Gamma_1} \right). \quad (1)$$

Такая структура характеризуется введением множества отношений предпочтения  $\{r_i\}_{i \in \Gamma}$  (или представляющих их функций  $\{F_i\}_{i \in \Gamma}$ ), а также множества согласующих правил  $\{\Phi^k\}_{k \in \Gamma_1}$ , направленных на преодоление критериальной неопределенности и разрешение противоречия между исходными отношениями предпочтения. Вводимые согласующие правила  $\Phi^k$  определяют результирующие функции выбора  $F_{\text{рез}}^k = \Phi^k(\{F_i\}_{i \in \Gamma})$ .

Известно [7, 16], что основу методов многокритериального выбора составляет регуляризация – доопределение (уточнение) задачи принятия решений путем привлечения дополнительной качественной и количественной информации о свойствах критериальных функций, об альтернативах, о принципах оптимальности и т.п. Основным источником дополнительной информации при поиске наилучших альтернатив являются эксперты, хорошо знающие заданную предметную область, и ЛПР, преследующее определенную цель (цели), в интересах достижения которой и решается рассматриваемая задача.

К настоящему времени разработано много разнообразных методов решения задач многокритериального выбора [1, 5–11, 16]. При классификации данных методов могут быть предложены различные принципы и признаки. Так, например, в работе [10] предлагается различать классы: априорных, апостериорных и адаптивных методов и моделей многокритериальной оптимизации. Среди априорных методов выделяют методы построения сверток показателей (скаляризация). При этом различают эвристические и аксиоматические свертки. Другая группа априорных методов решения многокритериальных задач основана на покомпонентном построении результирующих отношений предпочтения. При этом различают паретовские, лексикографические, мажоритарные результирующие отношения предпочтения, первые два из которых, в свою очередь, подразделяются на классические, интервальные и пороговые, а последнее – на безынтервальное и интервальное результирующие отношения предпочтения.

Каждая альтернатива из множества недоминируемых решений при соответствующих предпочтениях ЛПР может быть наилучшей. Лексикографическая оптимизация и парето-доминирование характеризуются минимальным объемом предпочтений ЛПР, что влечет за собой неполное использование критериев выбора и построение только частичного порядка на множестве допустимых альтернатив [1]. Следует отметить, что увеличение числа критериев приводит к нелинейному росту объема предпочтений ЛПР, требуемых для выполнения многокритериальной оптимизации. Однако результаты психологических исследований показывают [7], что при принятии многокритериальных решений следует учитывать возможности и ограничения человека по переработке информации.

Нормативные методы решения задач многокритериального выбора по типам информации, получаемой и используемой ЛПР при оценке альтернатив, можно классифицировать следующим образом:

- методы, основанные на количественных измерениях [3, 6, 16];
- методы, основанные на первичных качественных измерениях, результаты которых сразу же переводятся в количественный вид [11–13];
- методы, основанные на количественных измерениях, но в которых используются несколько индикаторов при сравнении альтернатив [10, 16];
- методы, основанные на качественных измерениях без какого-либо перехода к количественным переменным [5, 7].

При выборе конкретных методов многокритериального оценивания [7, 10] целесообразно руководствоваться следующими требованиями.

*Требование 1.* Имеются полнота и ацикличность (транзитивность) отношения на множестве многокритериальных альтернатив.

*Требование 2.* В методах принятия решений должны быть предусмотрены средства проверки информации ЛПР на непротиворечивость. Характерна малая чувствительность к ошибкам человека.

*Требование 3.* Любые допущения относительно вида решающего правила должны быть математически и психологически обоснованы.

*Требование 4.* В методах принятия решений должны использоваться только такие способы получения информации от ЛПР, которые соответствуют возможностям человеческой системы переработки информации.

Проведенный анализ [7] соответствия четырех групп нормативных методов первым двум требованиям показал, что данные методы в общем случае не могут одновременно обеспечивать полноту сравнений альтернатив, обеспечить линейный порядок, быть рациональными и нечувствительными к человеческим ошибкам в измерениях, приводящих к нетранзитивности отношения на множестве сравниваемых решений.

В статье рассматривается задача принятия управленческих решений в ситуациях, когда они заданы неявно или частично известны на момент принятия решений, а также могут появляться в процессе принятия решений. При этом управленческие решения оцениваются лингвистически (вербально) заданными показателями качества, что характеризует решаемую задачу как неструктурируемую. Можно выделить два направления решения таких задач. Первое направление заключается в описании качественных показателей особым образом построенными количественными показателями (балльные оценки, нечеткие числа, лингвистические переменные). При этом считается, что использование новых математических технологий, таких, как теория нечетких множеств, отношений и мер, нечеткого интегрирования, позволяет эффективно формализовать и решать слабоструктурированные задачи. Второе направление заключается в применении методов вербального (порядкового) анализа решений (ЗАПРОС I, ЗАПРОС II, ЗАПРОС III и ряд других) [7], в основе которых лежат построение единой шкалы изменения качества на множестве значений всех критериев и применение так называемых опорных ситуаций (утопического или идеального решения, а также ему противоположного решения). При этом считается, что любая процедура сведения качественных показателей к количественным некорректна и полагаться на количественные результаты нет основания.

Предлагаются комбинированный метод решения задачи многокритериального выбора управленческих решений, суть которого состоит в применении множества опорных ситуаций в виде продукционных моделей предпочтения ЛПР, обработка данных экспертного опроса методами теории нечетких мер [12, 13, 17], теории планирования эксперимента [14, 15] и проверка высказываний ЛПР на непротиворечивость.

## КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

Пусть принимаемые управленческие решения  $W = \{w\}$  оцениваются набором показателей  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ , каждый из которых представляет собой лингвистическую переменную. Лингвистическая переменная  $F_i = \text{«Уровень пропускной способности»}$  может принимать значения из множества простых и составных термов  $T(F_i) = \{\text{«низкий»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«средний»}, \text{«выше среднего»}, \text{«высокий»}\}$ . Для качественной интерпретации результирующего показателя будем использовать лингвистическую переменную «Эффективность управляющего решения», которая может принимать значения  $T(F_{\text{рез}}) = \{\text{«плохая»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«средняя»}, \text{«выше среднего»}, \text{«хорошая»}\}$ . В самом общем виде знания ЛПР о

взаимосвязи частных показателей  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$  с результирующим показателем  $F_{рез}$  можно представить продукционными моделями вида [14]:  $P_j$ : «Если  $F_1 = A_{1j}$  И  $F_2 = A_{2j}$  И...И  $F_m = A_{mj}$ , то  $F_{рез} = A_{jрез}$ », где  $A_{ij} \in T(F_i)$ ,  $A_{jрез} \in T(F_{рез})$  являются термами соответствующих лингвистических переменных. Термы  $A_{ij}$ ,  $A_{jрез}$  можно задать с помощью нечетких чисел (L-R) типа на интервале  $[-1, +1]$  (рис. 1).

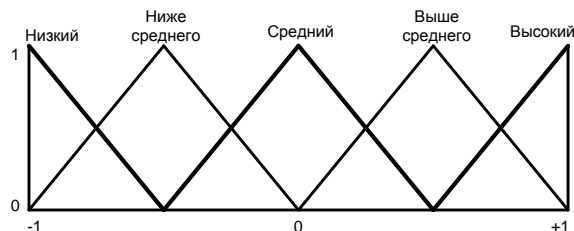


Рис. 1. Термы лингвистической переменной

В соответствии с методом решения задачи многокритериального оценивания, предложенным в работах [14, 15], крайние («минимальные» и «максимальные») значения лингвистической переменной  $F_i$  маркируют «-1» и «+1», а для построения результирующего показателя  $F_{рез}$ , согласно положениям теории планирования эксперимента, формируют ортогональный план экспертного опроса (матрица, столбцы которой попарно ортогональны), элементами которого являются крайние маркированные значения частных показателей качества  $\{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ . Пример ортогонального плана экспертного опроса для трех частных показателей эффективности приведен в табл. 1.

В табл. 1 значения термов лингвистической переменной  $F_{рез}$  результирующего показателя эффективности могут быть представлены нечеткими треугольными числами (рис. 2). Тогда, например, во второй строке таблицы представлено следующее суждение ЛПР: «Если показатель  $F_1$  имеет значение «высокий», показатель  $F_2$  имеет значение «низкий», показатель  $F_3$  имеет значение «низкий», то результирующий показатель  $F_{рез}$  оценивается как «ниже среднего». Причем само продукционное правило рассматривается как опорная ситуация при проведении экспертного опроса.

Таблица 1

### Ортогональный план экспертного опроса

1	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1F_2$	$F_1F_3$	$F_2F_3$	$F_1F_2F_3$	$F_{рез}$
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	$A_{1рез}$
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	$A_{2рез}$
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	$A_{1рез}$
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	$A_{3рез}$
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	$A_{2рез}$
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	$A_{4рез}$
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	$A_{3рез}$
1	1	1	1	1	1	1	1	$A_{5рез}$
$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\alpha_{23}$	$\alpha_{123}$	

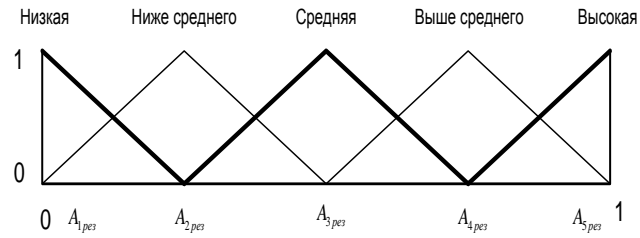


Рис. 2. Шкала результирующего показателя

Необходимо отметить, что расчет коэффициентов результирующего показателя

$$F_{рез} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i F_i + \sum_{i=1}^m \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \alpha_{ij} F_i F_j + \dots + \alpha_{12\dots m} F_1 F_2 \dots F_m, \text{ учитывающих влияние как отдельно взя-$$

тых частных показателей, так и влияние совокупностей по два, три и так далее показателей, осуществляется по правилам, принятым в теории планирования эксперимента. Для этого вычисляются усредненные скалярные произведения соответствующих столбцов ортогональной матрицы (см. табл. 1) на вектор значений результирующего показателя эффективности. Так, например, значение коэффициента  $\alpha_2$  вычисляется следующим образом:

$$\alpha_2 = \frac{-A_{1рез} - A_{2рез} + A_{1рез} + A_{3рез} - A_{2рез} - A_{4рез} + A_{3рез} + A_{5рез}}{8}.$$

Рассмотрим предложенный метод многокритериального оценивания управленческих решений [14, 15], который состоит из следующих шагов.

*Шаг 1.* Формирование множества лингвистических шкал для каждого из частных показателей и результирующего показателя эффективности управленческих решений. Перевод частных показателей в шкалу  $[-1, +1]$ .

*Шаг 2.* Построение ортогонального плана опроса ЛПР и проведение экспертного опроса (ответы на вопросы продукционных правил).

*Шаг 3.* Построение результирующего показателя эффективности управленческих решений.

Среди перечисленных шагов наиболее важным и ответственным является шаг 2, связанный с получением ответов ЛПР на вопросы, содержащиеся в продукционных правилах. С одной стороны, это вызвано тем, что, скажем, при числе частных показателей эффективности более четырех количество задаваемых вопросов возрастает и становится более 16, что, как правило, приводит к противоречивости высказываний ЛПР ввиду особенностей человеческого мышления. Подобные особенности нашли свое отражение в закономерности, выведенной Джорджем Миллером, суть которой заключается в том, что кратковременная человеческая память не может запомнить и повторить более  $7 \pm 2$  элементов. С другой стороны, в соответствии с парадоксом Эллсберга, человек (ЛПР) мыслит не аддитивно, что требует для оценивания его ответов применять неаддитивные (нечеткие) меры [12, 13, 17].

Для разрешения возникшего затруднения предлагается модифицировать метод [14, 15] и включить при его реализации на шаге 2 следующую методику проведения экспертного опроса и устранения ошибок в ответах ЛПР.

Предположим, что заданы  $F_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) частные показатели, которые оценивают эффективность выполнения управленческих решений. Для проведения экспертного опроса на шаге 2 требуется составить  $2^m$  продукционных правил вида  $P_j$ : «Если  $F_1 = A_{1j}$  И  $F_2 = A_{2j}$  И ... И  $F_m = A_{mj}$ , то  $F_{рез} = A_{jрез}$ », где  $A_{ij} \in \{-1_{F_i}, +1_{F_i}\}$  – «низкое» или «высокое» значение показателя  $F_i$ ,  $A_{jрез} \in T(F_{рез})$  – термы лингвистической переменной результирующего показателя эффективности.

Правила, в которых все показатели эффективности, кроме одного, принимают «низкие» значения, будем называть простыми правилами опроса ЛПР или простыми опорными ситуациями. Количество таких ситуаций соответствует количеству частных показателей эффективности. Будем считать, что правила  $P_1, P_2, \dots, P_m$  являются простыми, где соответствующие показатели  $F_1, F_2, \dots, F_m$  принимают «высокие» значения.

Сложные (составные) правила (сложные опорные ситуации) можно представить с помощью простых опорных ситуаций. Так некоторое правило  $P_j$ : «Если  $F_1 = A_{1j}$  И  $F_2 = A_{2j}$  И ... И  $F_m = A_{mj}$ , то  $F_{рез} = A_{рез}$ », в котором показатели с индексами  $\{i_1, i_2, \dots, i_k\} \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$  принимают «высокие» значения, можно записать как  $P_j = P_{i_1} \cup P_{i_2} \cup \dots \cup P_{i_k}$ .

Оценки результирующего показателя  $A_{рез}$  в простых правилах обозначаются  $g_i = E(a_i, \alpha_i, \beta_i) = E(A_{рез}), i = 1, \dots, m$ , где  $E(\bullet)$  – операция дефаззификации треугольного нечеткого числа  $A_{рез} = (a_i, \alpha_i, \beta_i)$  (например,  $E(a_i, \alpha_i, \beta_i) = a_i + \frac{\beta_i - \alpha_i}{3}$ ).

Вычисление оценок результирующего показателя в сложных опорных ситуациях осуществляется путем построения конструктивной параметрической  $\lambda$ -нечеткой меры Сугено [12, 13, 17] на конечном множестве простых опорных ситуаций  $P_i, i \in \Gamma = \{1, 2, \dots, m\}$ , где  $g_i$  – плотность распределения этой нечеткой меры. Мера Сугено отражает оценку результирующего показателя в сложном правиле  $P_j = P_{i_1} \cup P_{i_2} \cup \dots \cup P_{i_k}$  и имеет следующий вид:

$$G_\lambda(P_j = P_{i_1} \cup P_{i_2} \cup \dots \cup P_{i_k}) = \left[ \prod_{l=1}^k (1 + \lambda g_{i_l}) - 1 \right] / \lambda \quad (2)$$

Для построения  $\lambda$ -нечеткой меры Сугено, характеризующей оценку результирующего показателя в сложном правиле, требуется найти на интервале  $(-1, \infty)$  корень  $\lambda^*$  из следующего полинома  $m - 1$  порядка [12, 13, 17]:

$$\left[ \prod_{i=1}^m (1 + \lambda g_i) - 1 \right] / \lambda = 1, \quad -1 < \lambda < \infty \quad (3)$$

Следует отметить, что в работе [13] доказана теорема о том, что рассматриваемые полиномы имеют ровно один корень в интервале  $(-1, \infty)$ .

Полученные оценки сложных правил используются для проверки высказываний ЛПР на непротиворечивость. Так, например, если при ответе на  $P_j$  сложное правило оценка результирующего показателя будет равна  $A_{рез}$  и относительное отклонение этого результата от величины  $G_{\lambda^*}(P_j)$  будет больше заданной величины ошибки  $0 \leq \gamma \leq 1$  (т.е.

$\frac{|G_{\lambda^*}(P_j) - E(A_{рез})|}{G_{\lambda^*}(P_j)} > \gamma$ ), то считается, что ЛПР дал неверный ответ. Выявленные противоречия предъявляются ЛПР для анализа и их устранения.

## ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРОСА

Пусть эффективность выполнения управленческих решений оценивается тремя частными показателями  $F = \{F_i, i = 1, 2, 3\}$ . Предполагается, что заданы критерии  $F_i(w) \rightarrow \max$ , где  $w \in W$ . В соответствии с предложенным подходом для построения результирующего показателя эффективности необходимо заполнить матрицу экспертного опроса в крайних значени-

ях ( $-1_{F_i}$  – «низкий»,  $+1_{F_i}$  – «высокий») показателей  $F_i$  (табл. 2). Оценки ЛПР для простых опорных ситуаций 2, 3, 5 приведены в табл. 2.

Для определения оценок результирующего показателя в сложных опорных ситуациях с учетом мнений ЛПР в простых опорных ситуациях произведем вычисление параметра  $\lambda$ -нечеткой меры Сугено, решив уравнение

$$\frac{(1+0.2\lambda)(1+0.6\lambda)(1+0.4\lambda)-1}{\lambda} = 1 \Rightarrow 0.048\lambda^2 + 0.44\lambda + 0.2 = 0.$$

Корни уравнения равны соответственно  $\lambda_1^* \approx -0.48$ ,  $\lambda_2^* \approx -8.69$ . Второе решение не удовлетворяет условию  $-1 < \lambda < \infty$ , следовательно,  $\lambda^* \approx -0.48$ .

Таблица 2

### Результаты опроса ЛПР для простых опорных ситуаций

Правило	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_{рез}$
1	Низкий	Низкий	Низкий	0
2	Высокий	Низкий	Низкий	0,2
3	Низкий	Высокий	Низкий	0,6
4	Высокий	Высокий	Низкий	?
5	Низкий	Низкий	Высокий	0,4
6	Высокий	Низкий	Высокий	?
7	Низкий	Высокий	Высокий	?
8	Высокий	Высокий	Высокий	1

Тогда экспертная оценка результирующего показателя – в 4-й опорной ситуации будет составлять

$$G_{\lambda^*}(P_4) = \frac{(1+0.2\lambda^*)(1+0.6\lambda^*)-1}{\lambda^*} \approx 0.742;$$

– в 6-й опорной ситуации –

$$G_{\lambda^*}(P_6) = \frac{(1+0.2\lambda^*)(1+0.4\lambda^*)-1}{\lambda^*} \approx 0.5616;$$

– в 7-й опорной ситуации –

$$G_{\lambda^*}(P_7) = \frac{(1+0.6\lambda^*)(1+0.4\lambda^*)-1}{\lambda^*} \approx 0.8848.$$

Далее вычисляются усредненные скалярные произведения столбцов ортогональной матрицы (см. табл. 1) на вектор значений результирующего показателя эффективности. Результирующий показатель эффективности примет следующий вид:

$$F_{рез} = 0,549 + 0,077F_1 + 0,258F_2 + 0,163F_3 - 0,013F_1F_2 - 0,0081F_1F_3 - 0,0274F_2F_3 - 0,0014F_1F_2F_3.$$

Результаты оценки эффективности выполнения управленческих решений  $\{w_1, w_2, w_3\}$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Частные оценки управленческих решений**

Показатели	$w_1$	$w_2$	$w_3$
$F_1$	0.33	0.44	0.22
$F_2$	0.33	0.17	0.5
$F_3$	0.14	0.28	0.56

Результаты перевода указанных в табл. 3 оценок в шкалу [-1, 1] приведены в табл. 4.

Вычисленные значения результирующего показателя эффективности выполнения управленческих решений  $\{w_1, w_2, w_3\}$  будут такими:  $F_{\text{рез}}(w_1)=0.307$ ,  $F_{\text{рез}}(w_2)=0.288$ ,  $F_{\text{рез}}(w_3)=0.525$ .

Полученные результаты позволяют оценить и отранжировать предложенные варианты управленческих решений.

Таблица 4

**Результаты шкалирования частных оценок**

Показатели	$w_1$	$w_2$	$w_3$
$F_1$	-0,34	-0.12	-0.56
$F_2$	-0.34	-0.66	0
$F_3$	-0.72	-0.44	0.12

Особенность рассмотренного примера связана с тем, что при экспертном опросе оценки ЛПР результирующего показателя были заданы вещественными числами. В случае, когда данные оценки будут представлены термами лингвистической переменной (например, трапециевидальными нечеткими числами), для реализации предложенного в статье метода следует использовать как арифметические операции над нечеткими числами, так и индексы ранжирования нечетких величин [13].

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для решения задач многокритериального принятия управленческих решений в условиях лингвистически заданных частных показателей предложена модификация метода [14, 15], которая позволяет уменьшить число обращений к ЛПР в процессе экспертного опроса. Для чего опрос ЛПР осуществляется с использованием продукционных правил, в которых частные показатели принимают только крайние (наилучшие или наихудшие) значения, а обработка этих высказываний для построения результирующего показателя эффективности выполняется методами теории планирования эксперимента.

Однако ограниченные возможности человеческой системы переработки информации даже в этих условиях могут привести к нарушению рациональности выбора, ошибкам и противоречиям. Для обеспечения непротиворечивости предпочтений ЛПР в статье предложена методика оперативного устранения ошибок в ответах ЛПР. Она заключается в том, что на множестве продукционных правил опроса (опорных ситуациях), используя ответы ЛПР для простых опорных ситуаций, построена параметрическая нечеткая мера, с помощью которой проверяется наличие противоречия при ответах ЛПР на сложные вопросы.



### Список используемых источников

1. *Микони С.В.* Теория принятия управленческих решений: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2015. – 448 с.
2. *Mattila V., Virtanen K.* Ranking and selection for multiple performance measures using incomplete preference information // *European Journal of Operational Research.* – 2015. – Vol. 242, № 2. – P. 568–579.
3. Can a linear value function explain choices? An experimental study / P.J. Korhonen, K. Silvennoinen, J. Wallenius, A. Öörni // *European Journal of Operational Research.* – 2012. – Vol. 219, № 2. – P. 360–367.
4. *Литвак Б.Г.* Управленческие решения: практикум. – М.: Московская Финансово-Промышленная Академия, 2012. – 448 с.
5. A retrospective analysis of the performance of research projects / A.B. Petrovsky, G.V. Roiseison, I.P. Tichonov, A.V. Balishev // *International Journal «Information Models and Analyses».* – 2012. – Vol. 1, № 4. – P. 349–356.
6. *Podinovski V.V.* Decision making under uncertainty with unknown utility function and rank-ordered probabilities // *European Journal of Operational Research.* – 2014. – Vol. 239, № 2. – P. 537–541.
7. *Ларичев О.И.* Вербальный анализ решений. – М.: Наука, 2006. – 181 с.
8. *Микони С.В.* Системный анализ методов многокритериальной оптимизации на конечном множестве альтернатив // *Труды СПИИРАН.* – Вып. 4(41). – 2015. – С. 180–199.
9. *Микони С.В.* Аксиоматика методов многокритериальной оптимизации на конечном множестве альтернатив // *Труды СПИИРАН.* – Вып. 1(44). – 2016. – С. 198–214.
10. Военная системотехника и системный анализ. Модели и методы принятия решений в сложных организационно-технических комплексах в условиях неопределенности и многокритериальности: учебник / Б.В. Соколов, Б.В. Москвин, А.Н. Павлов и др.; под общ. ред. Б.В. Соколова. – СПб.: ВИККУ им. А.Ф. Можайского, 1999. – 496 с.
11. *Москвин Б.В.* Теория принятия решений: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 364 с.
12. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
13. *Павлов А.Н., Соколов Б.В.* Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2006. – 72 с.
14. *Зеленцов В.А., Павлов А.Н.* Многокритериальный анализ влияния отдельных элементов на работоспособность сложной системы // *Информационно-управляющие системы.* – 2010. – №6 (49). – С.7–12.
15. Models and methods for multicriteria situational flexible reassignment of control functions in man-machine systems / A. Pavlov, B. Sokolov, A. Pashchenko, A. Shalyto, G. Maklakov // *Proceedings of the 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems.* – 2016. – P.402–408.
16. *Ногин В.Д.* Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 176 с.
17. *Пытьев Ю.П.* Возможность как альтернатива вероятности. Математические и эмпирические основы, применение. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 464 с.

В.Я. Пророк,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Ш.И. Шаймухаметов

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

В статье рассматривается вариант модели движения маневрирующих летательных аппаратов, построенной с помощью ансамбля нечетких искусственных нейронных сетей. Работа обусловлена необходимостью совершенствования аппарата моделирования объектов, обладающих возможностями маневрирования в ходе движения. Представлено обоснование использования нейросетей при моделировании, приведен пример построения нечеткой искусственной нейронной сети, способной отражать особенности движения, характерные для маневрирующих летательных аппаратов, представлены результаты моделирования движения маневрирующего летательного аппарата с использованием ансамблей нечетких искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: маневрирующие летательные аппараты, траектории движения, искусственные нейронные сети, ансамбль нечетких искусственных нейронных сетей.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время моделирование движения маневрирующего летательного аппарата (МЛА) заключается в расчете координат положения и составляющих скорости МЛА в заданные моменты времени применительно к выбранной системе координат, что предполагает поэтапное выполнение стандартных расчетных операций: экстраполяции параметров движения ЛА, расчета полного ускорения ЛА, расчета аэродинамических коэффициентов (коэффициент лобового сопротивления и коэффициент подъемной силы), расчета высоты.

В наиболее общем случае МЛА в различные моменты времени с определенной долей вероятности находится в той или иной точке пространства. Если задавать характеристики и стратегии движения МЛА в виде интервалов возможных значений, результатом будет множество траекторий (параметров движения и маневров). Но на практике подстановка в параметры уравнений движения граничных значений затрудняет процесс расчета при остающейся неопределенности ситуации внутри указанных интервалов. Возможно задавать некоторые распределения вероятностей (при наличии статистических данных) или возможностей проявления соответствующих параметров траекторий. Все это позволяет получить соответствующие распределения в пределах области возможных значений, однако не избавляет от определенной субъективности при назначении исходных распределений вероятностей (возможностей) и интерпретации получаемых результатов [1].

В связи с вышеизложенным в работе предлагается использовать математический аппарат нечетких искусственных нейронных сетей (ИНС). Основным достоинством использования искусственных нейронных сетей при моделировании движения МЛА является адекватная интерпретация ключевых понятий теории динамических систем (траектория, параметры фазового состояния, параметр управления, время, возмущения и др.). Нейронные сети обладают свойствами, которые позволяют отражать особенности и сложные ситуации вариантов поведения МЛА. Примечательно, что на нейросетях определена операция передачи возбуждения [2]. Последнее предполагает наличие межнейронных возбуждающих связей, записанных в виде обучаемых на примерах матриц передачи возбуждений. Преимущества использования нейроструктур заключаются в следующем: а) свойстве ассоциативности, позволяющем обрабатывать множества траекторий и оперировать образами ситуаций моделирования, а не отдельными их описаниями; б) способности к обучению, которая дает воз-

возможность получать устойчивые решения по результатам имитационного моделирования прикладных задач в реальном масштабе времени [3].

Указанные преимущества определяют эффективность использования искусственных нейронных сетей в задачах моделирования движения отдельных МЛА и групп МЛА.

### ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Предположим, траектория движения МЛА определяется двумя основными характеристиками  $x_1$ ,  $x_2$  (скорость полета, изменение высоты полета), представленными в виде лингвистических переменных. Каждая из этих характеристик имеет терм-множество {«высокий», «средний», «низкий»}. Под этими значениями понимаются соответственно показатели скорости и изменения высоты полета у МЛА. Для упрощения расчетов область определения каждой из характеристик нормируется в интервал [1, 10]. При определении типа траектории ограничимся следующими классами: полетом по фугоидной траектории, полетом на постоянной высоте, выполнением маневра, пикированием.

Для определения вида функции принадлежности лингвистических переменных составляются две обучающих выборки, данные в которые заносятся экспертами. Для формирования порядковой шкалы с тремя классами («высокий», «средний», «низкий») сформирована обучающая выборка из семи объектов, характеристики которых равномерно распределены на оси и измеряются нечетко. Исходные данные приведены в табл. 1 и 2.

Результаты расчета центров классов классификационной шкалы для каждой из характеристик приведены в табл. 3.

Таблица 1

#### Исходные данные характеристики $x_1$

Значения характеристик	Функция $\mu_i(x_1)$ принадлежности объектов ОВ классам $i=1,k$ .		
	Низкий	Средний	Высокий
1	1,00	0,00	0,00
2	0,70	0,20	0,10
3	0,25	0,60	0,15
4	0,03	0,80	0,17
5	0,00	0,50	0,50
7	0,00	0,25	0,75
9	0,00	0,00	1,00

Таблица 2

#### Исходные данные характеристики $x_2$

Значения характеристик	Функция $\mu_i(x_2)$ принадлежности объектов ОВ классам $i=1,k$ .		
	Низкий	Средний	Высокий
2	1,00	0,00	0,00
3	0,90	0,15	0,10
4	0,70	0,85	0,30
5	0,50	1,00	0,50
6	0,40	0,75	0,70
7	0,30	0,30	0,75
9	0,00	0,05	1,00

Таблица 3

## Результаты расчета центров классов

$X_1$			$X_2$		
Низкий	Средний	Высокий	Низкий	Средний	Высокий
1,39	3,99	7,67	2,72	5,41	8,26

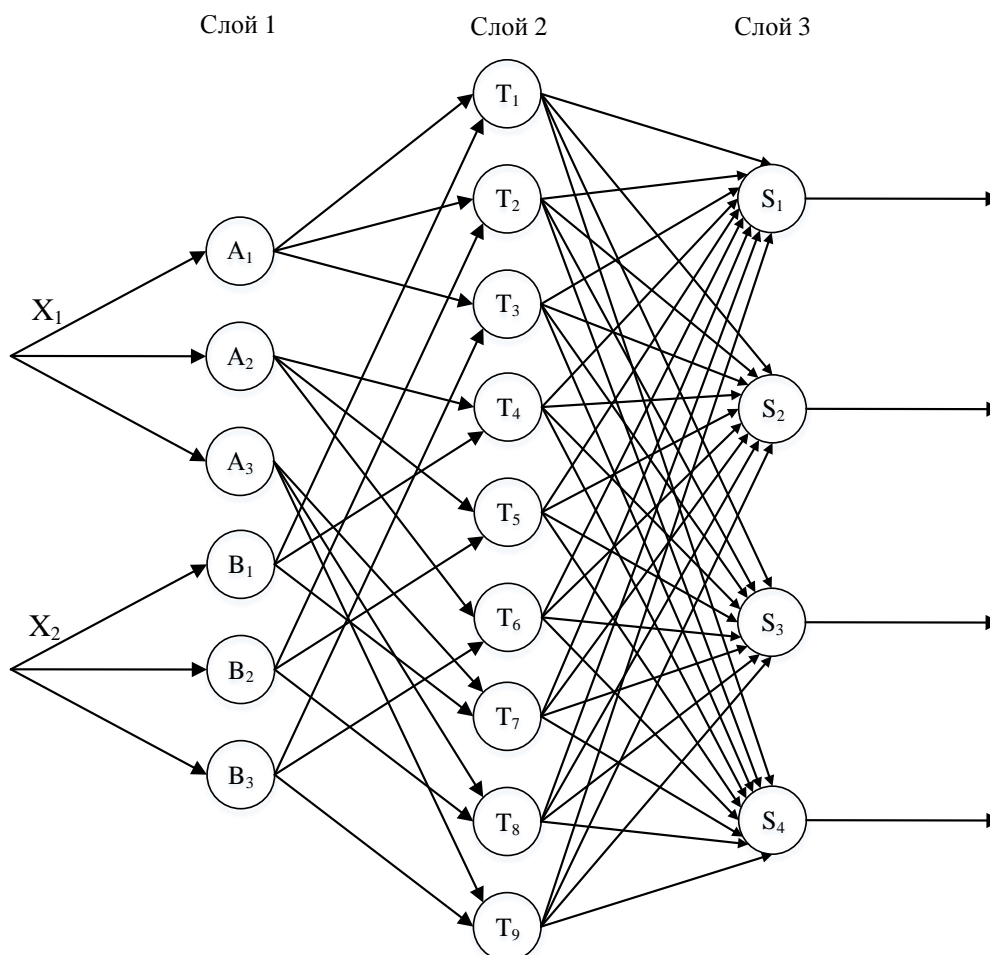


Рис. 1. Структура нейронной сети

Структура предлагаемой нечеткой нейронной сети представлена на рис. 1.

Слой 1. Выходы нейронов этого слоя представляют собой значения функций принадлежности (рассчитанные по методу размытой классификации) при конкретных (заданных) значениях входов. Так как каждая из лингвистических переменных может принимать только три значения, то число возможных правил базы знаний не превышает девяти:

- $\Pi_1$ : если  $x_1$  есть  $A_1$  и  $x_2$  есть  $B_1$ , то  $T_1$ ;
- $\Pi_2$ : если  $x_1$  есть  $A_1$  и  $x_2$  есть  $B_2$ , то  $T_2$ ;
- $\Pi_3$ : если  $x_1$  есть  $A_1$  и  $x_2$  есть  $B_3$ , то  $T_3$ ;
- $\Pi_4$ : если  $x_1$  есть  $A_2$  и  $x_2$  есть  $B_1$ , то  $T_4$ ;
- $\Pi_5$ : если  $x_1$  есть  $A_2$  и  $x_2$  есть  $B_2$ , то  $T_5$ ;
- $\Pi_6$ : если  $x_1$  есть  $A_2$  и  $x_2$  есть  $B_3$ , то  $T_6$ ;
- $\Pi_7$ : если  $x_1$  есть  $A_3$  и  $x_2$  есть  $B_1$ , то  $T_7$ ;
- $\Pi_8$ : если  $x_1$  есть  $A_3$  и  $x_2$  есть  $B_2$ , то  $T_8$ ;
- $\Pi_9$ : если  $x_1$  есть  $A_3$  и  $x_2$  есть  $B_3$ , то  $T_9$ ,

где  $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$  – нечеткие множества с функциями принадлежности колоколообразного вида, рассчитанные с помощью метода размытой классификации.

**Слой 2.** Выходами нейронов этого слоя являются степени истинности предпосылок каждого правила базы знаний, вычисляемые по формулам:

$$T_1 = A_1(x_1) \wedge B_1(x_2);$$

$$T_2 = A_2(x_1) \wedge B_1(x_2);$$

$$T_3 = A_3(x_1) \wedge B_1(x_2);$$

$$T_4 = A_1(x_1) \wedge B_2(x_2);$$

$$T_5 = A_2(x_1) \wedge B_2(x_2);$$

$$T_6 = A_3(x_1) \wedge B_2(x_2);$$

$$T_7 = A_1(x_1) \wedge B_3(x_2);$$

$$T_8 = A_2(x_1) \wedge B_3(x_2);$$

$$T_9 = A_3(x_1) \wedge B_3(x_2).$$

Все нейроны этого слоя обозначены буквой  $T$ , что означает, что они могут реализовать произвольную  $t$ -норму для моделирования операции «И».

**Слой 3.** Нейроны данного слоя являются обычными нейронами, осуществляющими взвешенное суммирование значений выходов нейронов предыдущего слоя, а их выходы формируются с использованием активационных функций сигмоидного типа:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}.$$

Пусть имеется набор эталонных образов и значения функции принадлежности их к каждому из классов траекторий (табл. 4).

Таблица 4

#### Значения функции принадлежности

Значения характеристик		Функция $\mu_i(x)$ принадлежности объектов ОВ классам типа траекторий			
$X_1$	$X_2$	Полет по фугоидной траектории	Полет на постоянной высоте	Маневр	Пикирование
1	2	0.00	1.0	0.00	0.00
2	3	0.20	0.80	0.30	0.10
3	4	0.60	0.80	0.40	0.20
4	5	0.80	0.60	0.70	0.20
5	6	0.70	0.25	0.80	0.50
7	7	0.60	0.10	0.85	0.70
9	9	0.30	0.00	0.75	0.80

Обучение нейронной сети будет выполняться по правилу «обратного распространения ошибки». На вход нейронной сети поочередно подаются эталонные образы (табл. 4).

В рассмотренном примере использовался только один обучаемый слой нейронной сети, что допустимо при построении элементарных разделяющих поверхностей между классами. При более сложном виде разделяющей поверхности необходимо использование двух и более слоев [4].

Структура ИНС после процесса обучения представлена на рис. 2. Степень (уровень) возбуждения узлов характеризуется толщиной линий (чем толще линия, тем степень возбуждения больше).

Данный пример демонстрирует лишь отдельный элемент ансамбля искусственных нечетких нейронных сетей. Нейронные сети могут быть объединены в ансамбли. Ансамблем нейронных сетей называют некоторое множество искусственных нейронных сетей, объеди-

ненных взаимными связями так, что процесс возбуждения отдельных нейронов и нейросети в целом осуществляется последовательно от одной нейросети к другой. Ансамбль ИНС позволяет получить множество возможных траекторий движения МЛА. Ниже рассмотрен процесс моделирования на основе ансамбля нечетких искусственных нейронных сетей.

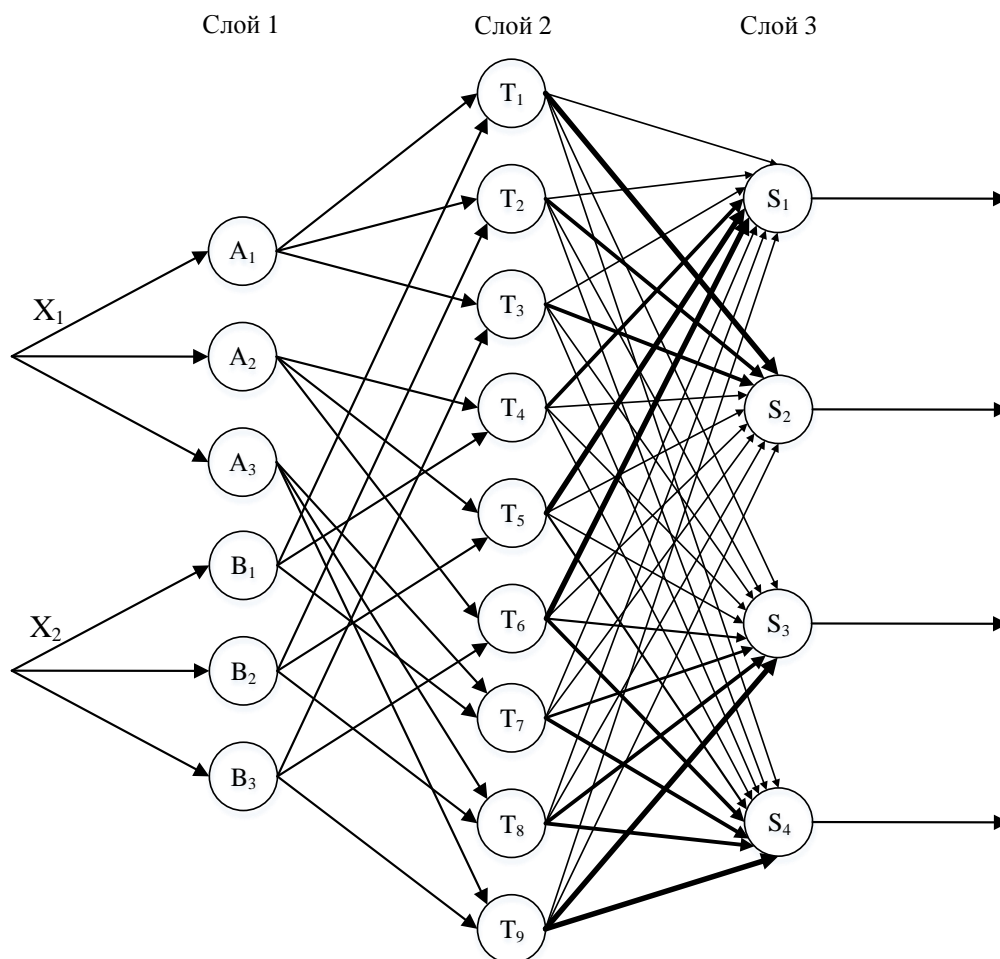


Рис. 2. Структура нейронной сети после обучения

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЯ НЕЧЕТКИХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Произвольную траекторию движения МЛА представим ансамблем нейронных сетей, состояния которых в каждый текущий момент времени определяются распределением активности нейронных состояний ( $ns$ ) отдельных нейронных сетей.

Траектории МЛА будут описываться множеством состояний нейронных сетей и временных переходов между ними, а именно:

- детерминированная траектория  $ns_1 \rightarrow ns_2 \rightarrow \dots \rightarrow ns_k$ , для которой как сами состояния, так и переходы между ними являются детерминированными;
- нечеткая траектория  $ns_1 \rightarrow ns_2 \rightarrow \dots \rightarrow ns_k$ , для которой как сами состояния, так и переходы между ними могут выражаться нечеткими числами с соответствующими функциями принадлежности [1].

Решающим при принятии решений по изменению типа траектории является узел (текущая нейронная сеть), характеризующий состояние, в котором происходит изменение типа траектории движения и направления дальнейшего движения к другим узлам.

Применительно к МЛА нейросеть, являющаяся точкой начала движения, получает возбуждение извне и передает его далее в зависимости от программы движения к другим

нейронным сетям, описываемым множеством  $ns_i = \{x_i, y_i, z_i, \Delta h_i, V_i\}$ , где  $x, y, z$  – координаты МЛА в пространстве,  $\Delta h$  – изменение высоты полета,  $V$  – скорость движения МЛА. Передача возбуждения осуществляется с учетом существующих ограничений, налагаемых на конструкцию, систему управления, условия движения МЛА. На параметры траектории движения МЛА также могут быть наложены ограничения, вызванные влиянием внешних факторов. Они могут быть заданы совокупностью состояний, достижение которых для МЛА недопустимо или допустимо в определенной степени.

Каждый узел ансамбля нейронных сетей определяет допустимый тип траектории дальнейшего движения МЛА и степень возможности применения того или иного маневра по законам, соответствующим нечетким L-R функциям, и, как следствие, определяет степень возбуждения последующих узлов. Процесс возбуждения ансамбля нейронных сетей представлен на рис. 3. Степень (уровень) возбуждения узлов характеризуется толщиной линий (чем толще линия, тем степень возбуждения больше).

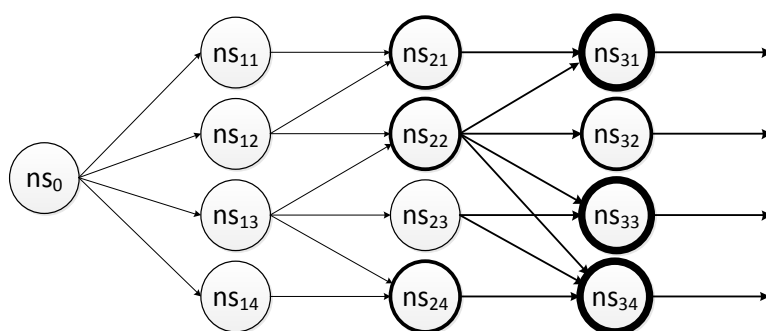


Рис. 3. Процесс возбуждения ансамбля ИНС в одной плоскости

Результаты моделирования процесса движения МЛА в азимутальной плоскости для условий достижения максимальной дальности полета и без задания каких-либо условий на построение траектории представлены на рис. 4.

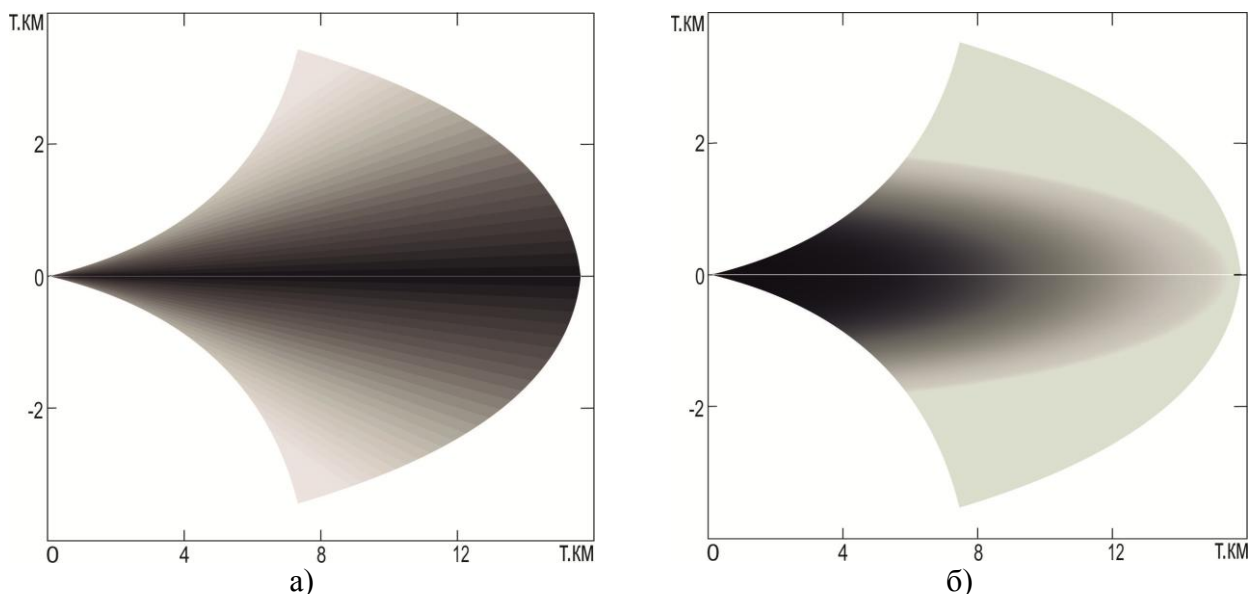


Рис. 4. Результаты моделирования процесса движения МЛА в азимутальной плоскости:  
 а – в условиях достижения максимальной дальности полета в азимутальной плоскости;  
 б – без задания каких-либо условий на построение траектории

Результаты моделирования процесса движения МЛА в угломестной плоскости для условий достижения максимальной дальности полета и без задания каких-либо условий на построение траектории представлены на рис. 5.

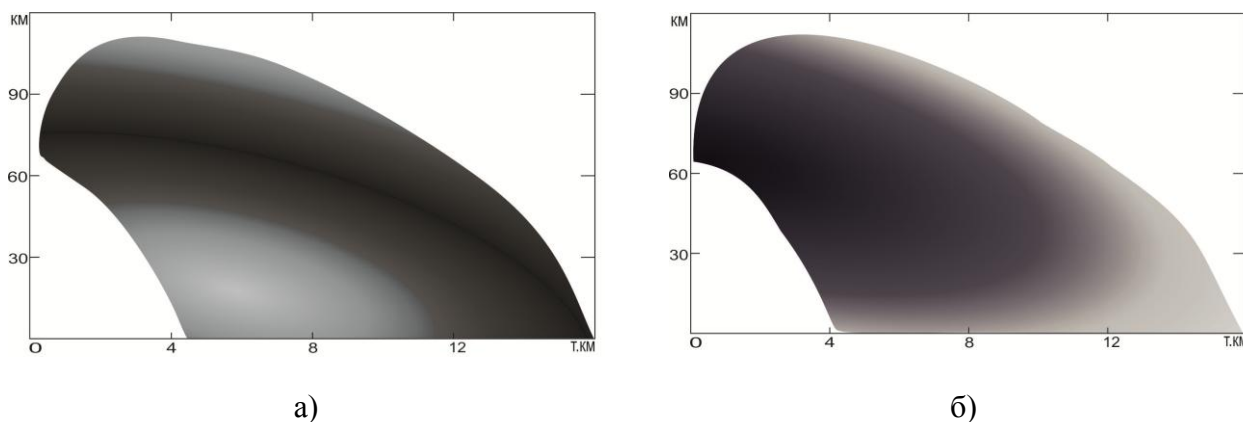


Рис. 5. Результаты моделирования процесса движения МЛА в угломестной плоскости: а – в условиях достижения максимальной дальности полета; б – без задания каких-либо условий на построение траектории

Высокая интенсивность черного цвета характеризует наибольшую возможность нахождения МЛА в заданной области, соответственно низкая интенсивность черного цвета показывает наименьшую возможность нахождения МЛА в заданной области.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ИНС позволяет существенно упростить процесс моделирования движения МЛА и, в частности, облегчить процесс принятия решения о возможных траекториях МЛА, в том числе и с недоопределенным обликом, широким спектром стратегий поведения, а также со значительными возможностями по маневрированию в зоне ответственности измерительных средств.

## Список используемых источников

1. Абросимов В.К., Гончаренко В.И. Моделирование движения и маневрирования летательных аппаратов на нейронных сетях // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – №3(140). – С. 122–130.
2. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.
3. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2001. – 224 с.
4. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Нейросетевые технологии, нечеткая кластеризация и генетические алгоритмы в экспертной системе // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – №7(156). – С. 7–15.



А.С. Бачевский;  
Д.Ю. Коновалов,  
*кандидат техн. наук;*  
В.В. Лабец,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
А.А. Шаталов,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
В.А. Шаталова,  
*кандидат техн. наук, доцент*

## **АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ, ПРИНИМАЕМЫХ ОТ БЫСТРО ФЛУКТУИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ И ЦЕЛЕЙ С ДОПЛЕРОВСКИМ РАССЕЯНИЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ**

Рассматривается задача совместного обнаружения – распознавания пачек сигналов, отраженных от быстро флуктуирующих целей и целей с доплеровским рассеянием при наличии помех. Формулировка и проверка статистических гипотез соответствуют двухэтапной задаче многоальтернативного обнаружения. На первом этапе проверяется гипотеза о присутствии любого из сигналов вместе с помехами и шумом (без конкретизации типа цели) против альтернативы о наличии только помех и шума. В качестве критерия оптимальности используется критерий Неймана – Пирсона. На втором этапе путем сравнения выбирается наибольший из логарифмов отношения правдоподобия. Соответствующий ему сигнал и принимается в качестве оценки истинного сигнала.

Предполагается, что сигналы, помехи и шум подчиняются гауссовскому закону распределения вероятностей. В случае параметрической априорной неопределенности их ковариационные матрицы неизвестны и должны быть оценены, например, по методу прямого обращения выборочной ковариационной матрицы.

Ключевые слова: быстро флуктуирующая цель и цель с доплеровским рассеянием.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Задачи обнаружения и оценивания параметров сигналов, принимаемых от быстро флуктуирующих целей и целей с доплеровским рассеянием при наличии помех, достаточно подробно исследованы применительно к радиолокации и цифровой связи [1]. Если первые из них подробно рассмотрены в литературе [1–3], то ко вторым обычно относят цели, содержащие признаки вторичного излучения цели (пропеллерной и турбинной модуляции, изменения ориентации цели относительно линии визирования), возникающие в процессе ее движения или взаимного перемещения ее элементов [2].

Особенности радиолокационного распознавания каждого из классов сигналов описаны в [2]. В реальных условиях работы априори не известно, от какой из указанных целей может быть принят сигнал на фоне помех. Поэтому указанные выше задачи должны быть объединены и должны рассматриваться как задачи совместного обнаружения – распознавания сигналов, принимаемых от медленно и быстро флуктуирующих целей на фоне помех.

В условиях параметрической априорной неопределенности статистических характеристик (СХ) сигналов, помех и шумов реализация указанных задач предполагает применение методов адаптации и обучения [2, 3].

**Цель работы** заключается в создании оптимального алгоритма распознавания сигналов, отраженных от быстро флуктуирующих целей и целей с доплеровским рассеянием при наличии помех, и анализе качественных характеристик его работы в условиях параметрической априорной неопределенности.

## МОДЕЛИ ИЗЛУЧАЕМЫХ И ПРИНИМАЕМЫХ СИГНАЛОВ, ПОМЕХ И ШУМА

Рассмотрим случай излучения  $k$ -импульсного пачечного сигнала вида

$$S_{\Sigma}(t) = \sqrt{E_t} \sum_{i=1}^k S_i(t - T_{ni}) = \sum_{i=1}^k u_{si}(t - iT_n) \exp\{j\omega_c t + \Theta_i\}, \quad (1)$$

где  $t$  – время;

$E_t$  – энергия излучаемого сигнала;

$u_s(t)$  – комплексная огибающая сигнала, которая нормируется согласно условию

$$\int_{-\infty}^{\infty} |u_s(t)|^2 dt = 1;$$

$u_{si}$  – череспериодная составляющая  $u_s(t)$ ;

$T_n$  – период повторения импульсов в пачке;

$\omega_c$  – несущая частота сигнала;

$\Theta_i$  – случайная фаза.

Принимаемый сигнал описывается следующими математическими моделями.

1. Математическая модель принятого сигнала в виде пачки  $k$  импульсов, отраженных от быстро флуктуирующей цели. Она определяется формулой

$$\bar{S}_1(t) = \sqrt{E_t} [\bar{\mathbf{g}}(\beta(t)) \otimes \bar{\mathbf{g}}(\varepsilon(t))] \otimes \sum_{i=1}^k b_i u_s(t - iT_n - \tau_s) \exp\{j(\omega_c \pm \omega_D)t\}, \quad (2)$$

где  $b_i$  – независимые комплексные гауссовские случайные величины (СВ), для которых выполняются условия  $M[b_i] = 0$ ,  $M[|b_i|^2] = \sigma_i^2$ ;

$M[\cdot]$  – операция вычисления математического ожидания;

$\bar{\mathbf{g}}(\beta(t))$  – вектор комплексных весовых коэффициентов, определяющих положение волнового фронта сигнала, принимаемого от цели в азимутальной плоскости  $\beta(t)$  размером  $N_{\alpha} \times 1$ ;

$\bar{\mathbf{g}}(\varepsilon(t))$  – вектор комплексных весовых коэффициентов, определяющих положение волнового фронта сигнала, отраженного от цели в угломестной плоскости  $\varepsilon(t)$  размером  $N_{\beta} \times 1$ ;

$\otimes$  – прямое произведение векторов;

$\tau_s$  – время задержки отраженного импульса относительно зондирующего;

$\omega_D$  – доплеровский сдвиг частоты.

В данном случае цель флуктуирует настолько быстро, что отраженные от нее сигналы, обусловленные соседними импульсами, независимы.

Если в качестве приемной антенны применяется одномерная фазированная антенная решетка (ФАР), то характеристики ее можно определить, используя комплексный вектор весовых коэффициентов  $\bar{\mathbf{g}}_{\beta}$  размером  $L \times 1$ , где  $L$  – количество элементов решетки. Модуль этого вектора определяет коэффициенты усиления в каналах приема, а аргумент – фазовые сдвиги на элементах решетки, вызванные разностью хода лучей падающей волны. (Подстрочный индекс означает плоскость размещения одномерной антенной решетки, в данном случае азимутальную.) Поэтому запишем [3]:

$$\bar{\mathbf{g}}_{\beta} = \mathbf{D}_{\beta} \bar{\mathbf{E}}_{\beta}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{D}_{\beta}$  – диагональная матрица коэффициентов усиления;

$\bar{\mathbf{E}}_{\beta}$  – вектор весовых коэффициентов, определяющих положение волнового фронта сигнала, при этом

$$\vec{\mathbf{E}}_{\beta}^T = \left[ 1, \exp\left(-j \frac{2\pi r}{\lambda} \cos \beta\right), \dots, \exp\left(-j \frac{2\pi r(L-1)}{\lambda} \cos \beta\right) \right],$$

где  $r$  – расстояние между элементами решетки;  
 $L$  – размер решетки;  
 $\lambda$  – длина волны.

Рассмотрим три различных варианта представления весовых коэффициентов  $\vec{\mathbf{g}}_{\beta}$ :

1) *Амплитудная система* – это антенная решетка, где фазовыми сдвигами, возникающими за счет разности хода лучей в каналах приема можно пренебречь, а вектор весовых коэффициентов имеет вид

$$\vec{\mathbf{g}}_{\beta} = \mathbf{D}_{\beta} \cdot \vec{\mathbf{1}}, \quad (4)$$

где  $\vec{\mathbf{1}}$  – единичный вектор.

2) *Фазовая система* – антенная решетка, у которой коэффициенты усиления  $d$  в различных каналах идентичны, т.е.

$$\vec{\mathbf{g}}_{\beta} = d \cdot \mathbf{I} \cdot \vec{\mathbf{E}}_{\beta}, \quad (5)$$

где  $\mathbf{I}$  – единичная матрица размером  $L \times L$ .

3) *Комплексная система* – общий случай, когда коэффициенты усиления и фазовые набегги в каналах приема различны и вектор весовых коэффициентов определяется согласно (3). Обозначим через  $\vec{\mathbf{g}}_{\varepsilon}$  комплексный вектор весовых коэффициентов ФАР (размером  $H \times 1$ ), размещенных в угломестной плоскости. Тогда вектор весовых коэффициентов двумерной антенной решетки, состоящей из  $L$  горизонтальных и  $H$  вертикальных элементов, можно определить выражением

$$\vec{\mathbf{g}}_{\beta, \varepsilon} = (\mathbf{D}_{\beta} \vec{\mathbf{E}}_{\beta} \otimes \mathbf{D}_{\varepsilon} \vec{\mathbf{E}}_{\varepsilon}). \quad (6)$$

2. Математическая модель сигнала, отраженного от цели с доплеровским рассеянием, в виде пачки, содержащей  $k$  импульсов. Она имеет вид

$$\vec{\mathbf{S}}_2(t, \beta, \varepsilon) = \sqrt{2E_t} \vec{\mathbf{g}}_{\beta, \varepsilon} \otimes \sum_{i=1}^k b_D \left( t - \frac{\tau}{2} - iT_n \right) u_s(t - \tau_s - iT_n) \exp[j(\omega_c \pm \omega_D)t], \quad (7)$$

где  $b_D(t)$  – комплексный гауссовский случайный процесс (СПр), для которого  $M[b_D(t)] = 0$ ,  $M[b_D(t)b_D^*(\nu)] = K_D(\tau)$ ;

$K_D(\tau)$  – корреляционная функция  $b_D(t)$ ;

$f$  – частота.

Функция доплеровского рассеяния  $s_D(f)$ , связанная с  $K_D(\tau)$  преобразованием Фурье, определяемая выражением

$$s_D(f) = \int_{-\infty}^{\infty} K_D(\tau) e^{j2\pi f \tau} d\tau. \quad (8)$$

Спектр реального полосового СПр  $s(t) = 0,5 \cdot s_D(f - f_c) + 0,5 \cdot s_D(-f - f_c)$ .

Для описания общих свойств цели обычно в рассмотрение вводятся две величины. Первая называется средним доплеровским смещением и определяется как

$$m_D = \frac{1}{2\sigma_b^2} \int_{-\infty}^{\infty} f \cdot s_D(f) df. \quad (9)$$

Вторая величина определяется похожим образом и составляет

$$\sigma_D = f_D^2 - m_D^2 = \frac{1}{2\sigma_b^2} \int_{-\infty}^{\infty} f^2 \cdot s_D(f) df - m_D^2. \quad (10)$$

Величины  $m_D$  и  $\sigma_D^2$  тождественны математическому ожиданию и дисперсии СВ  $f$ . Комплексная ковариационная функция сигнального СПр при известных  $\tau_3$  и  $\omega_D$   $K_s(t, \nu) = M[s_{ep}(t)s_{ep}^*(\nu)] = E_t u_s(t - \tau) K_D(t - \nu) u_s(\nu - \tau)$ . Ковариационная функция сигнала в виде пачки из  $k$  импульсов на входе приемного устройства определяется выражением

$$K_s(t, \nu) = \sqrt{2E_t} \mathbf{g}_{\beta, \varepsilon} \sum_{i=1}^k \sum_{\mu=1}^k u_s(t - \tau - iT_n) K_D(t - \nu) u_s^*(\nu - \tau - \mu T_n) \times \exp[j(\omega_C \pm \omega_D)(t - (i - \mu)T_n)]. \quad (11)$$

### ОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ БЫСТРО ФЛУКТУИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ И ЦЕЛЕЙ С ДОПЛЕРОВСКИМ РАССЕЯНИЕМ НА ФОНЕ ПОМЕХ

В процессе радиолокационного наблюдения сигналов от цели на интервале  $t \in [T_1, T_2]$  необходимо определить: содержит принимаемый СПр  $\vec{\xi}(t)$  только помеху  $\vec{n}(t)$  вместе с шумом  $\vec{w}(t)$  или совокупность помехи  $\vec{n}(t)$  и шума  $\vec{w}(t)$ , а также один из сигналов  $\vec{S}_1(t)$  или  $\vec{S}_2(t)$ , определяемых выражениями (2) или (7). Будем считать, что СХ сигналов, помех и шумов, а также их параметры  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$ ,  $\tau_3$ ,  $\omega_D$  полностью известны.

С точки зрения оптимальной обработки принимаемой информации необходимо осуществить проверку следующих статистических гипотез:

$$H_0: \vec{\xi}(t) = \vec{n}(t) + \vec{w}(t), \quad (12)$$

$$H_1: \vec{\xi}(t) = \vec{n}(t) + \vec{w}(t) + \vec{S}_1(t), \quad (13)$$

$$H_2: \vec{\xi}(t) = \vec{n}(t) + \vec{w}(t) + \vec{S}_2(t). \quad (14)$$

Затем определить, какая из гипотез является истинной. В такой постановке задача распознавания ставится и решается как задача многоальтернативного обнаружения.

При ее решении в качестве критерия оптимизации могут использоваться критерии Байеса, Неймана – Пирсона и ряд других.

В случае критерия Байеса, когда  $\Pi_{ii} = 0$ ,  $\Pi_{ij} = \Pi_0$ ,  $\forall i, j = \overline{0, 2}$ ,  $i \neq j$ , оптимальное решение находится по следующей схеме.

Формируются логарифмы отношения правдоподобия

$$\ln \Lambda_1[\vec{\xi}(t)] = \ln p[\vec{\xi}|H_1] - \ln p[\vec{\xi}|H_0] \quad (15)$$

и

$$\ln \Lambda_2[\vec{\xi}(t)] = \ln p[\vec{\xi}|H_2] - \ln p[\vec{\xi}|H_0], \quad (16)$$

где  $\Pi_{ij}$  – функция потерь;

$\Lambda$  – функционал отношения правдоподобия;

$p[\vec{\xi}|H_1]$  – условная плотность распределения вероятностей (ПРВ) вектора  $\vec{\xi}$  в случае истинности гипотезы  $H_1$ ;

$p[\vec{\xi}|H_2]$  – условная ПРВ вектора  $\vec{\xi}$  в случае истинности гипотезы  $H_2$ ;

$p[\vec{\xi}|H_0]$  – условная ПРВ вектора  $\vec{\xi}$  в случае истинности гипотезы  $H_0$ , которую можно проверить:

1) соответствует ли принятая реализация выражению (13) против альтерна-

тивы, что принятая реализация соответствует выражению (12);

2) соответствует ли принятая реализация выражению (14) против альтернативы, что принятая реализация соответствует выражению (12).

В результате проверки указанных гипотез выносится решение о наличии или отсутствии сигнала (безразлично какого) в принятой реализации  $\bar{\xi}$ .

В случае принятия решения о наличии сигнала необходимо проверить, какая из гипотез,  $H_1$  или  $H_2$ , истинна. Для этого осуществляется сравнение  $\ln \Lambda_1[\bar{\xi}(t)]$  и  $\ln \Lambda_2[\bar{\xi}(t)]$  по величине:

$$\ln \Lambda[\bar{\xi}] = \ln \Lambda_1[\bar{\xi}] - \ln \Lambda_2[\bar{\xi}]. \quad (17)$$

1. Если  $\ln \Lambda_1[\bar{\xi}(t)] > \ln \Lambda_2[\bar{\xi}(t)]$ , то принимается решение об истинности гипотезы  $H_1$ .

2. Если  $\ln \Lambda_1[\bar{\xi}(t)] < \ln \Lambda_2[\bar{\xi}(t)]$ , то выносится решение о том, что истинна гипотеза  $H_2$ .

Достаточная статистика, соответствующая  $\ln \Lambda_1[\bar{\xi}(t)]$ , определяется формулой

$$l_1 = \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} \bar{\xi}^*(t_1) \cdot \mathbf{Q}(t_1, t_2) \cdot \bar{\mathbf{g}}_{\beta, \varepsilon} [u_s(t_2 - iT_n - \tau_s) \exp \{j(\omega_c \pm \omega_D)t_2\}] dt_1 dt_2 \right|^2, \quad (18)$$

где  $\mathbf{Q}(t_1, t_2)$  – матричная функция, обратная ковариационной матрице помех и шумов.

Выражение под знаком квадрата модуля в формуле (18) определяет СВ, распределенную по закону  $\chi^2$ , с одной степенью свободы, а сумма  $k$  таких СВ, вследствие их независимости,

СВ, распределенную по закону  $\chi^2$ , с  $k$  степенями свободы  $p(l) = (2^{(k/2)} \Gamma(k/2))^{-1} l^{(k/2)-1} e^{-l/2}$ , где  $\Gamma(k/2)$  – гамма-функция.

Вид плотностей распределения вероятностей  $p(l)=f(l)$  представлен на рис. 1 для  $k=1$  [график  $p1(l)$ ],  $k=8$  [график  $p2(l)$ ],  $k=16$  [график  $p3(l)$ ],  $k=24$  [график  $p4(l)$ ],  $k=32$  [график  $p5(l)$ ].

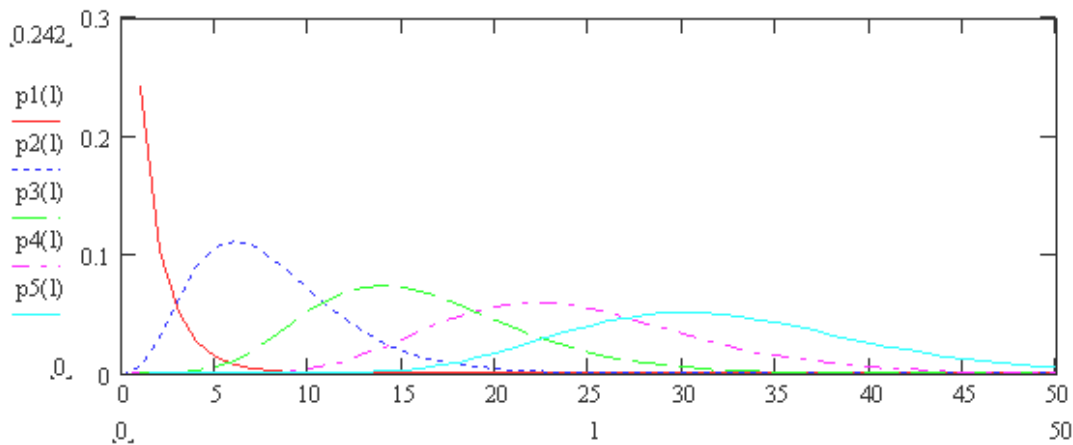


Рис. 1. Вид плотностей распределения вероятностей  $p(l)=f(l)$  различного числа степеней свободы  $k$ : 1)  $k=1$  [график  $p1(l)$ ]; 2)  $k=8$  [график  $p2(l)$ ]; 3)  $k=16$  [график  $p3(l)$ ]; 4)  $k=24$  [график  $p4(l)$ ]; 5)  $k=32$  [график  $p5(l)$ ]

Числовые характеристики распределения  $\chi^2$  определяются моментами:

1) математическим ожиданием  $m = k \cdot 2^{-\left(\frac{k}{2}+1\right)}$ ;

2) дисперсией  $\sigma_k^2 = k \cdot 2^{-(k+1)}$ .

Помимо  $m$  и  $\sigma_k^2$  существуют моменты и более высокого порядка.

Достаточная статистика, для  $\ln \Lambda_2[\bar{\xi}(t)]$ , определяется выражением [3]

$$\begin{aligned}
l_2 = & \sum_{i=1}^k \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} \bar{\xi}^*(t_1) \mathbf{Q}(t_1, t_2) \bar{\mathbf{g}}_{\beta\varepsilon} \hat{b}_D \left( t_2 - \frac{\tau}{2} - iT_n \right) u_s \left( t_2 - \frac{\tau}{2} - iT_n - \tau_s \right) \exp \{ j(\omega_c \pm \\
& \pm \omega_D) t \} dt_1 dt_2 - \frac{1}{2} \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} \left[ \sum_{i=1}^k \hat{b}_D \left( t_1 - \frac{\tau}{2} - iT_n \right) u_s \left( t_1 - \frac{\tau}{2} - iT_n - \tau_s \right) \exp [j(\omega_c \pm \omega_D) t] \right]^* \times \\
& \times \bar{\mathbf{g}}_{\beta,\varepsilon}^* \mathbf{Q}(t_1, t_2) \bar{\mathbf{g}}_{\beta\varepsilon} \left[ \sum_{i=1}^k \hat{b}_D \left( t_2 - \frac{\tau}{2} - iT_n \right) u_s \left( t_2 - \frac{\tau}{2} - iT_n - \tau_s \right) \exp [j(\omega_c \pm \omega_D) t] \right] dt_1 dt_2, \quad (19)
\end{aligned}$$

где  $\hat{b}_D(t)$  – оценка СПр  $b_D(t)$ , полученная на выходе многомерного линейного фильтра, работающего по критерию минимума СКО.

Можно показать, что оценка  $\hat{b}_D(t)$  формируется на выходе фильтра с импульсной характеристикой (ИХ)  $\bar{\mathbf{h}}(t - \tau)$  по правилу

$$\hat{b}_D(t) = \int_{T_1}^{T_2} \bar{\mathbf{h}}^*(t - \tau) \bar{\xi}(\tau) d\tau. \quad (20)$$

ИХ фильтра  $\bar{\mathbf{h}}(t - \tau)$  определяется из решения интегрального уравнения

$$\bar{\mathbf{h}}(t - \tau) = \int_{T_1}^{T_2} \mathbf{Q}_2(t - \vartheta) \bar{\mathbf{k}}(\vartheta - \tau) d\vartheta, \quad (21)$$

где  $\mathbf{Q}_2(t - \vartheta)$  – матричная функция, которая является обратной ковариационной матрице  $\mathbf{K}_\xi(t - \vartheta) = \left[ \bar{\xi}(t) \bar{\xi}^*(\vartheta) | H_2 \right]$  входного СПр при условии истинности гипотезы  $H_2$ .

Сравнение достаточных статистик (18) и (19) с порогом обнаружения  $\gamma_0$  позволяет принять решение о наличии или отсутствии сигнала (безразлично какого) в реализации СПр  $\bar{\xi}(t)$ . Для вынесения решения об истинности гипотез  $H_1$  или  $H_2$  целесообразно использовать формулы (18) и (19). Если имеет место неравенство  $l_1 > l_2$ , то принимается решение об истинности гипотезы  $H_1$  (13). Если выполняется неравенство  $l_1 < l_2$ , то признается истинной гипотезы  $H_2$  (14).

Реализация оптимального приемного устройства, предназначенного для выполнения обработки в соответствии с выражениями (18) и (19), может быть осуществлена в нескольких вариантах, тем не менее содержащих ряд общих блоков и подсистем, которые необходимо учитывать при осуществлении алгоритма распознавания.

Сравнивая выражения (18) и (19), замечаем, что общим в них является выполнение пространственно-временной обработки в соответствии с выражением

$$x(t_2) = \int_{T_1}^{T_2} \bar{\xi}^*(t_1) \cdot \mathbf{Q}(t_1, t_2) \cdot \bar{\mathbf{g}}_{\beta,\varepsilon} dt_1, \quad (22)$$

осуществляемое на основе следующих трех основных структурных схем.

Первая из них включает:

- 1) пространственно-временную функцию  $\bar{\zeta}^*(t_2) = \int_{T_1}^{T_2} \bar{\xi}^*(t_1) \mathbf{Q}(t_1, t_2) dt_1$ ;
- 2) пространственную функцию [3]  $x(t_2) = \bar{\zeta}^*(t_2) \bar{\mathbf{g}}_{\beta\varepsilon}$  обработку.

Вторая структурная схема отличается порядком выполнения операций. Первым вычисляется произведение  $\bar{\mathbf{r}}(t_1, t_2) = \mathbf{Q}(t_1, t_2) \bar{\mathbf{g}}_{\beta\varepsilon}$ . За ним следует пространственно-временная обработка

$$\text{ка вида } x(t_2) = \int_{T_1}^{T_2} \bar{\xi}^*(t_1) \bar{\mathbf{r}}(t_1, t_2) dt_1.$$

Третья основана на применении метода выбеливания. При этом используется несколько иной порядок выполнения операций: 1. Одновременно осуществляются выбеливание

$$\bar{\eta}^*(t_3) = \int_{T_1}^{T_2} \bar{\xi}^*(t_1) \mathbf{H}_W^*(t_3, t_1) dt_1 \quad \text{и} \quad \text{пространственная фильтрация} \quad \bar{\mathbf{g}}_{W,\beta,\varepsilon}(t_2, t_3) = \mathbf{H}_W(t_2, t_3) \bar{\mathbf{g}}_{\beta\varepsilon},$$

где  $\mathbf{H}_W$  – импульсная характеристика пространственно-временного фильтра. Затем выполняется пространственно-временная фильтрация (или пространственно-временная корреляционная обработка) вида  $x(t_2) = \int_{T_1}^{T_2} \bar{\eta}^*(t_3) \times \bar{\mathbf{g}}_{W,\beta,\varepsilon}(t_2, t_3) dt_3$  [3].

Вычисление произведения

$$v_i(t_2) = x(t_2) \left[ u_s(t_2 - iT_n - \tau_3) \exp\{j(\omega_C \pm \omega_D)t_2\} \right] \quad (23)$$

является основным элементом корреляционной или фильтровой временной обработки.

Дальнейшая обработка в соответствии с (18) состоит в интегрировании, вычислении квадрата модуля и суммировании полученных результатов для формирования достаточной статистики:

$$l_1 = \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} x(t_2) [u_s(t_2 - iT_n - \tau_3) \exp\{j(\omega_C \pm \omega_D)t_2\}] dt_2 \right|^2 = \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} v_i(t_2) dt_2 \right|^2. \quad (24)$$

Реализация (24) выполняется по известной схеме «фильтр – квадратор – интегратор» [1, 3].

Временная обработка вида (19) отличается тем, что после вычисления произведения (23)

выполняется операция умножения на оценку  $\hat{b}_D\left(t_2 - \frac{\tau}{2} - iT_n\right)$ , полученную в результате линейной фильтрации в соответствии с (20), интегрирования полученного результата, вычисления квадрата модуля и суммирования для формирования первого слагаемого достаточной статистики  $l_2$ . Его реализация осуществляется по схеме оценителя – коррелятора [1, 3]. Вычитаемое в выражении (19) можно выполнить по одной из трех схем:

- 1) по схеме оценителя – коррелятора;
- 2) приемника, выполненного по схеме «фильтр – квадратор – интегратор»;
- 3) приемника – по схеме оптимального реализуемого фильтра [1, 3].

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ БЫСТРО ФЛУКТУИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ И ЦЕЛЕЙ С ДОПЛЕРОВСКИМ РАССЕЯНИЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ

При полностью известных СХ сигналов  $\bar{\mathbf{S}}_1(t)$  и  $\bar{\mathbf{S}}_2(t)$ , помех и шумов получим потенциальные характеристики многоальтернативного обнаружения, используя следующую схему. Зададим матрицу вероятностей вида

$$\mathbf{P} = \left\| p_{ij} \right\|_{i,j=0}^2, \quad (25)$$

где  $p_{ij}$  – вероятность того, что истинна гипотеза с номером  $i$ , а принято решение об истинности гипотезы с номером  $j$ .

В рассмотренном случае, определяемом в соответствии с (12)–(14),  $p_{ij}$ , входящие в (25), имеют следующий смысл:  $p_{00}$  – вероятность правильного необнаружения любого из сигналов в принятой реализации СПр  $\bar{\xi}(t)$ ;  $p_{11}$  – вероятность правильного обнаружения сигнала быстро флуктуирующей цели;  $p_{22}$  – вероятность правильного обнаружения цели с доплеровским рассеянием;  $p_{01}$  – вероятность принять решение о наличии быстро флуктуирующей цели, помехи и шума, в то время как истинной является гипотеза  $H_0$ ;  $p_{02}$  – вероятность принять реше-

ние о наличии цели с доплеровским рассеянием, помехи и шума, в то время как истинной является гипотеза  $H_0$ ;  $p_{10}$  – вероятность пропуска сигнала, отраженного от быстро флуктуирующей цели;  $p_{20}$  – вероятность пропуска сигнала, отраженного от цели с доплеровским рассеянием;  $p_{12}$  – вероятность перепутывания сигналов от быстро флуктуирующей цели и цели с доплеровским рассеянием в случае истинности гипотезы  $H_1$ , принято решение о наличии сигнала от цели с доплеровским рассеянием;  $p_{21}$  – вероятность перепутывания сигналов от быстро флуктуирующей цели и цели с доплеровским рассеянием в случае истинности гипотезы  $H_2$ , принято решение о наличии сигнала от быстро флуктуирующей цели.

В соответствии с критерием Неймана – Пирсона положим  $p_{01} = p_{02} = P_F$ . Это позволит определить вероятности правильного  $p_{11}$  и  $p_{22}$  обнаружения сигналов, принимаемых от быстро флуктуирующей цели и цели с доплеровским рассеянием. В первом случае вероятность правильного обнаружения сигнала определяется выражением  $p_{11} = P_F^{\frac{1}{1+\Delta_1}}$ , где

$$\Delta_1 = \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} \bar{\mathbf{g}}_{\beta\epsilon}^* \mathbf{Q}(t_1, t_2) \bar{\mathbf{g}}_{\beta\epsilon} (u_s^*(t_1 - iT_n - \tau_3)(u_s(t_2 - iT_n - \tau_3)) \exp\{j\omega_D(t_2 - t_1)\}) dt_1 dt_2 \right| \sigma_{ii}^2. \quad (26)$$

Здесь  $\sigma_{ii}^2$  соответствует  $\sigma_i^2$  в выражении (2).

Вероятность пропуска сигнала от быстро флуктуирующей цели  $p_{10}$  составляет  $p_{10} = 1 - p_{11}$ .

Найдем дисперсию эквивалентного шума на выходе оптимального обнаружителя сигнала, принимаемого от быстро флуктуирующей цели:

$$\sigma_{w_{\beta 1}}^2 = \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} [\bar{\mathbf{g}}_{\beta,\epsilon}^* \mathbf{Q}(t_1, t_2) \bar{\mathbf{g}}_{\beta,\epsilon}] [u_s^*(t_1 - iT_n - \tau_3) \exp\{j\omega_D(t_1 - \tau_3)\}] \times \right. \\ \left. \times (u_s(t_2 - iT_n - \tau_3) \exp\{j\omega_D(t_2 - \tau_3)\}) dt_1 dt_2 \right|. \quad (27)$$

Во втором случае вероятность правильного обнаружения сигнала определяется выражением  $p_{22} = P_F^{\frac{1}{1+\Delta_2}}$ , где относительно  $\Delta_2$  необходимо сделать ряд пояснений.

Получить характеристики оптимального алгоритма, определяемого формулой (19), в явном виде удается в четырех случаях [1].

1. Процессы отражения с конечным представлением в переменных состояния.
2. Стационарный сигнальный процесс с большим временем наблюдения.
3. Сепарабельное ядро.
4. Когерентное обнаружение сигнала малой энергии.

В первом случае необходимым условием получения характеристик является требование рациональности функции доплеровского рассеяния  $s_D(f)$ , определяемой выражением (8).

Во втором случае необходимо, чтобы комплексная огибающая излученного передатчиком сигнала являлась действительным импульсом прямоугольной формы, длительность которого значительно больше интервала корреляции процесса отражения.

В третьем случае процесс отражения имеет конечное число собственных значений, что математически эквивалентно ситуации отражения медленно флуктуирующих целей.

Четвертым является случай когерентного обнаружения сигнала малой энергии, когда наибольшее собственное число много меньше уровня белого шума.

В данном разделе рассмотрим только случай сепарабельного ядра, когда имеется конечное число собственных значений (11). Он имеет место, если в наличии спектр с ограниченной полосой. Если СПР с ограниченным спектром  $[-F, F]$  (в Гц) наблюдается на интервале  $T_1, T_2$ , то имеется только  $p = 2F \cdot (T_2 - T_1) + 1$  существенных собственных значений. Это позволяет получить приближенные решения, пренебрегая собственными значениями высоких порядков. В самом деле, функция  $b_D(t)$  на конечном интервале может быть представлена в виде ряда Котельникова



$$\hat{b}_{Di}(t) = \sum_{\phi=0}^{2TF} \hat{b}_i \left( \frac{\phi}{2F} \right) \frac{\sin(2\pi Ft - \phi\pi)}{2\pi Ft - \phi\pi}. \quad (28)$$

Оценка дисперсии  $i$ -го сигнала пачки определяется выражением

$$\sigma_{bi}^2 \approx \frac{1}{2F} \sum_{\phi=0}^{2TF} \left[ \hat{b} \left( \frac{\phi}{2F} \right) \right]^2, \quad i = \overline{1, k}. \quad (29)$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} \Delta_2 = & \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} [\bar{\mathbf{g}}(\alpha(t_1)) \otimes \bar{\mathbf{g}}(\beta(t_1))]^* \mathbf{Q}(t_1, t_2) [\bar{\mathbf{g}}(\alpha(t_2)) \otimes \bar{\mathbf{g}}(\beta(t_2))] \times \right. \\ & \left. \times (f_s^*(t_1 - T_{\Pi i} - \tau_3))(f(t_2 - T_{\Pi i} - \tau_3)) \exp\{j\omega_D(t_2 - t_1)\} dt_1 dt_2 \right| \sigma_{bi}^2. \end{aligned} \quad (30)$$

Вероятности  $p_{12}$  и  $p_{21}$  находим исходя из требований, которые задает потребитель. В частности, может выдвигаться требование минимизации вероятности  $p_{21}$  и максимизации вероятности  $p_{22}$ , что эквивалентно применению критерия Неймана – Пирсона. Можно положить  $p_{12} = p_{21} = P_{F2}$  и максимизировать как  $p_{11}$  и  $p_{22}$ . Возможны и другие варианты. Рассмотрим первый из указанных вариантов.

Задавая вероятность  $p_{12} = 10^{-6}$ , исходя из соотношения

$$p_{12} = \int_{\gamma}^{\infty} p1(l) dl = 10^{-6} \quad (31)$$

находим порог распознавания  $\gamma = 23,92$ .

При фиксированном значении  $p_{12}$  (31) вероятность  $p_{11} = 1 - p_{12}$ .

Дисперсия сигнала, полученного на выходе устройства, осуществляющего обработку в соответствии с (18), в случае, когда на его вход подается сигнал (7), имеет вид

$$\begin{aligned} \sigma_{21}^2 = & \sigma_w^2 \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} [\bar{\mathbf{g}}(\alpha(t_1)) \otimes \bar{\mathbf{g}}(\beta(t_1))]^* \mathbf{Q}(t_1, t_2) [\bar{\mathbf{g}}(\alpha(t_2)) \otimes \bar{\mathbf{g}}(\beta(t_2))] \times \right. \\ & \left. \times (f_s^*(t_2 - T_{\Pi i} - \tau_3))(f_s^*(t_1 - T_{\Pi i} - \tau_3)) \exp\{j\omega_D(t_2 - t_1)\} dt_1 dt_2 \right|. \end{aligned} \quad (32)$$

Найдем дисперсию эквивалентного шума на выходе оптимального обнаружителя сигнала, принимаемого от цели с доплеровским рассеянием

$$\begin{aligned} \sigma_{w\alpha 2}^2 = & \sigma_{wb}^2 \sum_{i=1}^k \left| \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} [\bar{\mathbf{g}}^*(\alpha(t_1)) \otimes \beta(t_1)] \mathbf{Q}(t_1, t_2) [\bar{\mathbf{g}}(\alpha(t_2)) \otimes \beta(t_2)] \times \right. \\ & \left. \times (f_s^*(t_1 - T_{\Pi i} - \tau_3)) \exp\{j\omega_D(t_1 - \tau_3)\} (f(t_2 - T_{\Pi i} - \tau_3)) \exp\{j\omega_D(t_2 - \tau_3)\} dt_1 dt_2 \right|, \end{aligned} \quad (33)$$

где  $\sigma_{wb}^2$  – дисперсия шума на выходе устройства, осуществляющего обработку в соответствии с (19), включающего шум устройства оценивания и собственный шум.

В условиях параметрической априорной неопределенности СХ сигналов, помех и шумов реализация указанных алгоритмов предполагает применение методов расширенного пространства оценок или усреднения [3] для оценивания дисперсий (27), (32)–(33), которые необходимы для формирования адаптивного порога. Оценивание  $\mathbf{Q}(t_1, t_2)$  выполняется методами, подробно описанными в [3–5].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход можно применять для решения задач распознавания сигналов, принимаемых от целей различных классов на фоне негауссовских помех. При этом возрастает число проверяемых гипотез, но ход решения остается тем же самым. Вид плотности распределения вероятностей (ПРВ) пачки сигналов зависит от того, является ли ПРВ каждого им-

пульса устойчивой или нет. В последнем случае необходимо определять вид ПРВ для каждого конкретного  $k$  числа импульсов.

При неизвестных параметрах  $\omega_D$  и  $\tau_3$  цель их оценка должна осуществляться по критерию максимума правдоподобия, а реализацию алгоритма необходимо выполнять по многоканальной схеме.

### Список используемых источников

1. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Обработка сигналов в радио и гидролокации и прием случайных гауссовых сигналов на фоне помех: пер. с англ. / под ред. В.Т. Горяинова. – М.: Сов. радио, 1977. – Т.3. – 664 с.
2. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.А. Горшков, С.П. Лещенко, Г.Д. Братченко, В.М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – №11. – С. 3–63.
3. Обработка сигналов в многоканальных РЛС / А.П. Лукошкин, С.С. Каринский, А.А. Шаталов и др.; под ред. А.П. Лукошкина. – М.: Радио и связь, 1983. – 328 с.
4. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 445 с.
5. Радиолокация сложных целей. Разрешение и распознавание / В.С. Давыдов, А.П. Лукошкин, А.А. Шаталов, А.Б. Ястребков; под ред. А.П. Лукошкина, А.А. Шаталова, А.Б. Ястребкова. – СПб.: Янис, 1993. – 280 с.
6. Адаптивный алгоритм обнаружения низколетящих вертолетов в условиях многолучевого распространения электромагнитных волн / В.А. Авдяков, А.А. Шаталова, А.С. Бачевский, Д.Ю. Коновалов, А.А. Шаталов, А.Б. Ястребков // Сборник материалов межвузовского научно-технического семинара «Повышение эффективности радиоэлектронного вооружения. Развитие тренажерной базы». – СПб.: Михайловская ВАА, 2014.
7. Коновалов Д.Ю., Михеев Д.В., Шаталова В.А. О построении адаптивного алгоритма компенсации активных помех в РЛС с ФАР // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 648. – С. 72–77.

И.В. Бережной,  
кандидат техн. наук;  
К.В. Сазонов,  
доктор техн. наук, доцент;  
К.В. Ступаков

## МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БЛОЧНОЙ ПАМЯТИ В КОНФИГУРАЦИОННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Представлена аналитическая модель структуры конфигурационной последовательности программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), этапы ее формирования в процессе функционирования систем автоматизированного проектирования (САПР). Описан метод выявления значений блочной памяти ПЛИС, проведена оценка сложности рассмотренного метода.

Ключевые слова: аналитическая модель, программируемая логическая интегральная схема.

### ВВЕДЕНИЕ

В отличие от обычных цифровых микросхем, логика работы программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) не определяется при изготовлении, а задается посредством программирования (проектирования). Для программирования используются программатор и IDE (отладочная среда), позволяющие задать желаемую структуру цифрового устройства в виде принципиальной электрической схемы или программы на специальных языках описания аппаратуры: Verilog, VHDL, AHDL и др.

При обратном проектировании ПЛИС основными проблемами являются: доступ к двоичному коду памяти конфигурации, объем которого может составлять десятки мегабайт, и восстановление принципиальной электрической схемы по содержимому памяти конфигурации.

Для решения этой задачи разрабатываются специальные модели, позволяющие восстановить структуру конфигурационной последовательности ПЛИС.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИОННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Конфигурационная последовательность (КП) представляет собой поток 32-разрядных слов, которые являются или командами, или конфигурируемыми данными.

Конфигурирующую последовательность  $(B_{(m)})$  ПЛИС можно разбить на несколько участков (рис. 1):

- служебная информация (название, дата и время создания проекта, объем КП);
- блоки, являющиеся командами регистров ПЛИС  $(D_k, k = 1 \dots g)$ ;
- блоки, отвечающие за конфигурацию логических блоков  $(S_p^{(j)}, j = 1 \dots 4; p = 1 \dots n)$ ;
- фреймы блочной памяти  $(R_z^{(y)}, z = 1 \dots w)$ .

Таким образом, конфигурирующую последовательность можно представить в виде совокупности множества фреймов:

$$B_{(m)} = \left\{ S_1^1, D_1, R_1^1, S_2^1, D_2, R_2^2, \dots, S_p^4, D_k, R_z^{(y)}, \dots, S_n^{(j)}, D_g, R_w^{(y)} \right\}. \quad (1)$$

Размер фреймов конфигурации может быть различным для разных серий и архитектур ПЛИС, но в пределах одной серии он постоянен. Например, для серии Virtex-5 он равен 1312 бит, для серии Virtex-7 – 3232 битам [3].

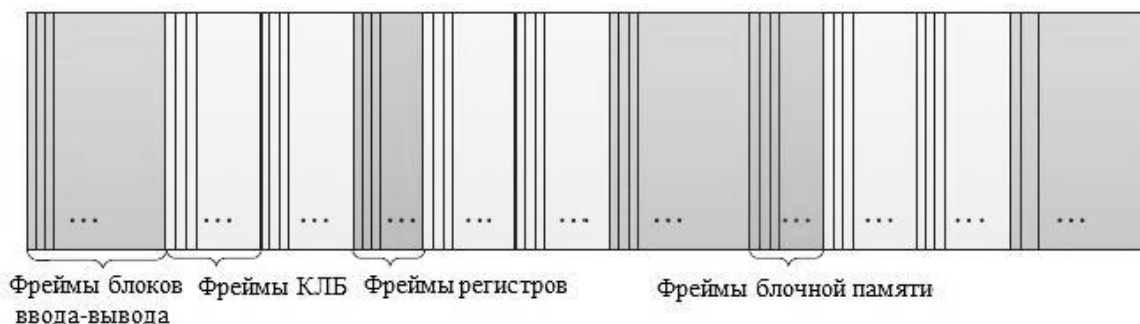


Рис. 1. Последовательность фреймов конфигурирующего потока ПЛИС

## ЭКСПЕРИМЕНТ

На начальном этапе использовалась конфигурационная последовательность, состоящая из логических нулей. При этом единичные биты задействовали наборы элементов (конфигурировали их). Из xdl-файла одного проекта элементы конфигурации переносили в другой xdl-файл, после чего для обоих проектов генерировались конфигурационные последовательности. В результате обе конфигурационные последовательности утрачивали работоспособность. После логического объединения обеих конфигурационных последовательностей результирующая битовая последовательность становилась работоспособной, на рис. 2 представлен упрощенный пример объединения конфигурирующих последовательностей. На основе итогов эксперимента можно сделать вывод о том, что результирующая конфигурирующая последовательность является логическим объединением всех микропоследовательностей. Однако значения данных микропоследовательностей в процессе преобразования файла регистровых передач в конфигурирующую последовательность распределяются по алгоритму САПР по неизвестным позициям в КП.

Таким образом, конфигурирующая последовательность ПЛИС, задающая функциональность микросхемы, может быть представлена набором микропоследовательностей, которые, в свою очередь, конфигурируют определенные наборы элементов ПЛИС:

$$B_{(m)} = B^{LUT} \cup B^{REG} \cup B^{CLB} \cup B^* . \quad (2)$$

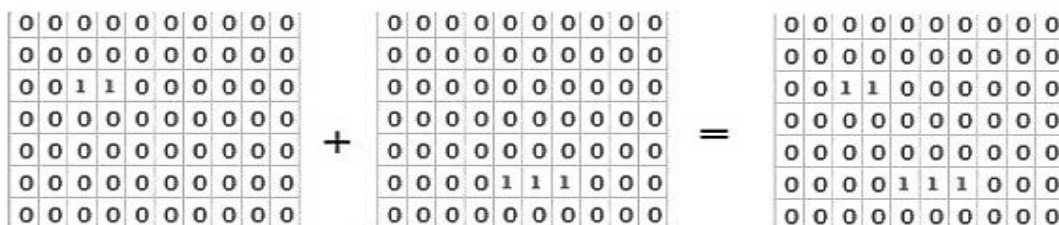


Рис. 2. Пример объединения конфигурирующих последовательностей

Значения в конфигурационной последовательности (рис. 2), предназначенные для хранения в памяти (множество  $B_{(m)}$ , элементы  $b_i$ ), записываются в блочную память ПЛИС (множество  $B^*$ , элементами которой являются биты  $r_b$ ).

Следовательно, можно установить однозначное соответствие между значениями множества  $B^*$ , отвечающего за конфигурацию блочной памяти, и значениями битов блочной памяти:

$$b_i \in B_{\langle m \rangle} \xrightarrow{f_{BG}} r_b \in B^*, \quad (3)$$

где  $B^*$  – микропоследовательность, отвечающая за конфигурацию блочной памяти (рис. 3).

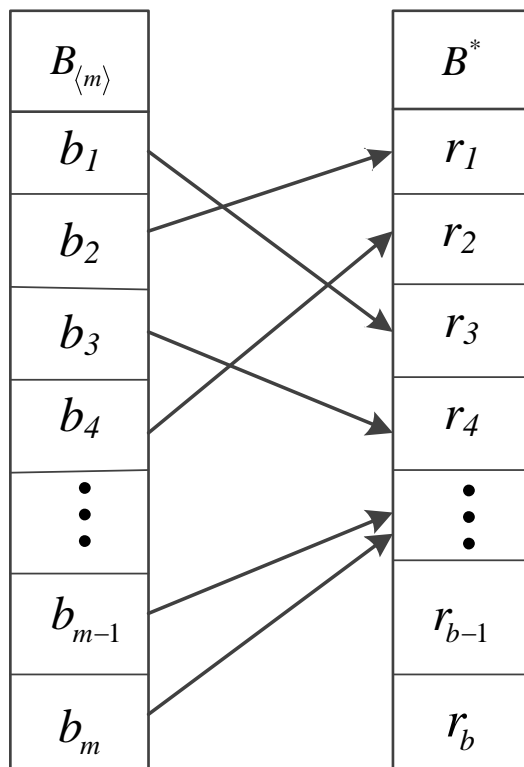


Рис. 3. Запись элементов КП ПЛИС в блочную память

Закономерности, по которым биты блочной памяти записываются (элементы множества  $B^*$ ) на определенные позиции КП (элементы множества  $B_{\langle m \rangle}$ ), определяются утилитой *VITGEN* (*BG*), выполняющей функцию преобразования.

Поскольку имеется прямое соответствие между значениями битов, записанных в блочную память ПЛИС, и элементами  $B^*$  микропоследовательности, необходимо локализовать и определить порядок записи микропоследовательности  $B^* \in B_{\langle m \rangle}$ , определяющей содержание памяти.

Поскольку КП ПЛИС представляет собой битовую двоичную последовательность, то значения таблицы подстановки логических функций будут также представлены множеством логических нулей и единиц (рис. 4).

Связь между битами блочной памяти и позициями в КП определяется заранее определенными алгоритмами САПР, использующими библиотеки распределения битов в КП для каждой модели ПЛИС.

0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	$S_7(f)$
1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	$S_6(f)$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	$S_5(f)$
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	$S_4(f)$
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	
1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	
0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	
1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	
0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	
1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	
1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	
1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	
0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	
1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	
0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	

Рис. 4. Представление таблиц истинности логических функций в BRAM ПЛИС

*BITGEN* – основной модуль САПР, участвующий в получении цифровой конфигурационной последовательности (файле конфигурации). На *первом этапе BITGEN* обращается к объекту, соответствующему конфигурационному файлу для проверки достаточности имеющихся данных для синтеза конфигурационного файла. Если данных достаточно, то формируется конфигурационный файл, в противном случае процесс переходит на второй этап. Также на первом этапе результирующий файл первого этапа \*.ncd поступает в модуль, соответствующий файлу регистровых передач, где распаковывается согласно определенным правилам.

На *втором этапе BITGEN*, по причине отсутствия необходимых данных в объекте *BS\_BITFILE*, обращается к объекту, соответствующему ограничениям проекта (*BS\_FDCHIP*), полученным из файла \*.pcf, и получает из этого объекта все необходимые данные.

На *третьем этапе* обработанные объектом *NC\_DESIGN* данные из файла регистровых передач передаются на объект, соответствующий модели ПЛИС (*BS\_DB*).

На *четвертом этапе BITGEN* обращается к объекту *BS\_DB*. Данный объект содержит сведения об используемой в этом проекте ПЛИС, а именно шаблоны, по которым будет впоследствии распределяться конфигурация.

Далее, на *пятом этапе* все сформированные на предыдущих этапах данные поступают в таблицу итераций (*TMAPS*), которая в несколько проходов размещает конфигурационные данные и отправляет их на объект *BS\_BITFILE*, после чего формируется конфигурационная битовая последовательность, что и составляет *шестой и седьмой этапы* соответственно (рис. 5) [2].

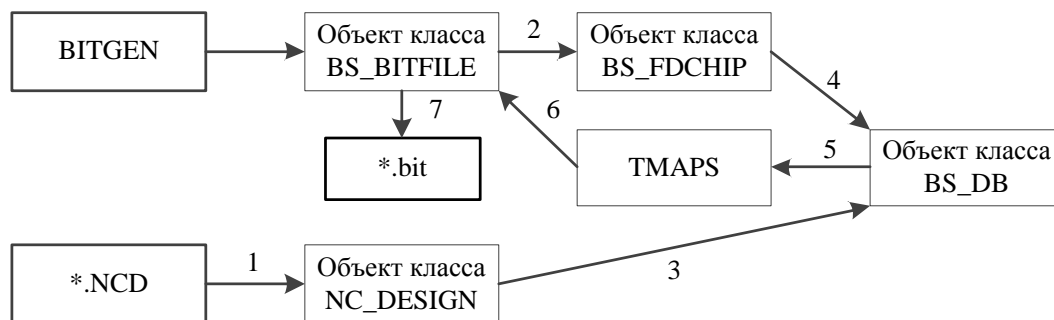


Рис. 5. Схема процесса получения файла конфигурационной последовательности

Файл регистровых передач (ФРП) представляет собой набор описания блоков ПЛИС и связей между ними. Алгоритм функционирования каждого блока и каждой линии связи между блоками определяется логическими функциями, реализованными в ПЛИС. Получаемый САПР Xilinx ФРП имеет расширение \*.ncd. Данный формат ФРП является файлом с набором машинных команд и может быть использован утилитой *BITGEN* для получения КП (\*.bit).

Для обеспечения поиска вероятных ошибок в САПР имеется возможность из файла \*.ncd получать файл с расширением \*.xdl, в котором явным образом отображаются как логические функции, реализованные LUT-таблицами, так и значения битов, записанных в блочную память (рис. 6).

```
inst "main2/en_1/generate_for_each_byte[6].substitute/Mrom_output1" "RAMB18X2",placed BRAM X5Y6S RAMB36 X0Y13
cfg " CLKALINV::CLKAL CLKAUIV::#OFF CLKBLINV::CLKBL CLKBUINV::#OFF DOA_REG_L::0
DOA_REG_U::#OFF DOB_REG_L::0 DOB_REG_U::#OFF ENALINV::ENAL ENAUIV::#OFF
ENBLINV::ENBL ENBUINV::#OFF READ_WIDTH_A_L::9 READ_WIDTH_A_U::#OFF
READ_WIDTH_B_L::9 READ_WIDTH_B_U::#OFF REGCLKALINV::REGCLKAL REGCLKAUIV::#OFF
REGCLKBLINV::REGCLKBL REGCLKBUINV::#OFF SAVEDATA_L::FALSE SAVEDATA_U::#OFF
SSRALINV::SSRAL SSRAUIV::#OFF SSRBLINV::SSRBL SSRBUINV::#OFF WRITE_MODE_A_L::WRITE_FIRST
WRITE_MODE_A_U::#OFF WRITE_MODE_B_L::WRITE_FIRST WRITE_MODE_B_U::#OFF
WRITE_WIDTH_A_L::9 WRITE_WIDTH_A_U::#OFF WRITE_WIDTH_B_L::0 WRITE_WIDTH_B_U::#OFF
RAMB18X2 LOWERmain2/en_1/generate_for_each_byte[6].substitute/Mrom_output1:
INIT_00_L::C072A49CAFA2D4ADF04759FA7DC982CA76ABD7FE2B670130C56F6BF27B777C63
INIT_01_L::75B227EBE28012079A059618C323C7041531D871F1E5A534CCF73F362693FDB7
```

Рис. 6. Пример отображения значений блочной памяти в \*.xdl файле

Исходя из принципов формирования КП по ФРП, чтобы определить позицию каждого бита блочной памяти, необходимо в ФРП<sub>0</sub> заполнить области, отвечающие за конфигурацию блочной памяти, таким образом, чтобы всем битам присваивалось значение логического «0», а в ФРП<sub>1</sub> заполнить области, отвечающие за конфигурацию блочной памяти, таким образом, чтобы всем битам присваивалось значение логической «1». Из ФРП формируются КП. Затем, сравнивая КП, необходимо выявлять различающиеся биты, чтобы соответственно локализовать микропоследовательность  $B^*$ , которая определяет блочную память ПЛИС [5].

Для восстановления порядка записи значений микропоследовательности  $B^*$  необходимо применить метод дихотомического поиска и сравнения КП ПЛИС, который заключается в том, что идентификация каждого бита блочной памяти КП может быть осуществлена за счет последовательного деления пополам области блочной памяти и постепенной детализации размещения битов в КП вплоть до отдельного бита.

В итоге идентификацию необходимо начать с разделения всей области блочной памяти на нулевые и единичные фрагменты (4) и (5). Для этого формируется один ФРП, в котором половине всех битов блочной памяти присваивается значение логического «0». Другой половине битов блочной памяти присваивается значение логической «1». Этим способом в КП будет идентифицировано расположение половины всех битов блочной памяти по признаку «1». Затем то же самое необходимо сделать с другой половиной битов (рис. 7):

$$r_b^1 = r_b^2 = \dots = r_b^{\frac{B^*}{2}} = 1; r_b^{(\frac{B^*}{2})+1} = r_b^{(\frac{B^*}{2})+2} = \dots = r_b^{B^*} = 0; \quad (4)$$

$$r_b^1 = r_b^2 = \dots = r_b^{\frac{B^*}{2}} = 0; r_b^{(\frac{B^*}{2})+1} = r_b^{(\frac{B^*}{2})+2} = \dots = r_b^{B^*} = 1. \quad (5)$$

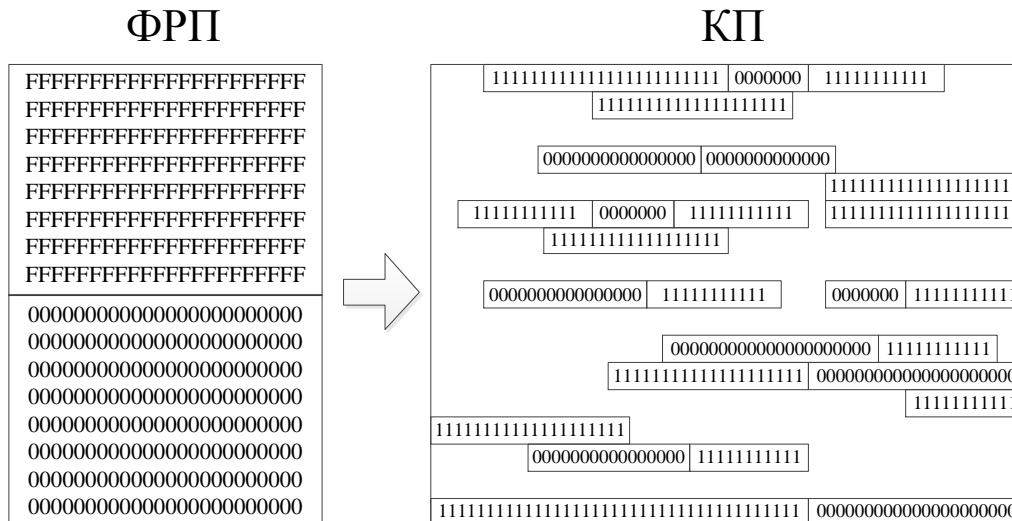


Рис. 7. Пример распределения битов из ФРП в КП

Таким образом, последовательно разделяя пополам область блочной памяти и конфигурируя ее логическими «1» и «0», необходимо детализировать каждый бит, заданный в ФРП, и его позицию в КП.

Для однозначной идентификации каждого конкретного бита необходимо вычислить его адрес размещения в КП, соответственно вычисленным битам присваивается индекс  $e$ , который является номером позиции бита в КП, начиная с заголовка файла. По мере сравнения КП и вычисления индексов битов формируется шаблон расположения битов в КП, который представляет собой двоичный файл, содержащий все индексы битов блочной памяти. При этом, один раз сформировав шаблон размещения битов блочной памяти для конкретной модели ПЛИС, можно занести его в базу данных шаблонов, чтобы в дальнейшем сразу определять значения конфигурирующих битов при анализе КП таких же моделей ПЛИС.

После того как формирование шаблона закончено, необходимо исследовать имеющийся файл КП ПЛИС на наличие данных, записанных в блочной памяти. Применяя шаблон размещения битов, можно восстановить значения битов КП, которые конфигурируют блочную память и правильный порядок их записи, такой, который был заложен проектировщиком ПЛИС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленная микропоследовательность  $B^*$  будет представлять собой упорядоченное множество битов, записанное тем же самым образом, как и в ФРП:

$$B^* = \{r_b^1, r_b^2, \dots, r_b^e\}. \quad (6)$$

Сложность дихотомического поиска можно оценить как логарифмическую  $O(\log_2 N)$ , где  $N$  – количество итераций. Таким образом, для идентификации, например 16777216 бит, потребуется всего 24 итерации (деления пополам и сравнения).

Для исследования полученных двоичных последовательностей целесообразно применить математический аппарат теории булевых функций, позволяющий оценить свойства данных последовательностей.



### Список используемых источников

1. *Бибило П.Н.* Системы моделирования интегральных схем на основе языка VHDL. StateCAD, ModelSim, LeonardoSpectrum. – М.: СОЛОН Пресс, 2005. – 384 с.
2. *Макунин А.А., Панкратов А.В., Ступаков К.В.* Анализ архитектурных особенностей основных файлов конфигурации проекта на ПЛИС // Труды НИЦ РЭВ и ФИР ВМФ. – СПб.: НИЦ РЭВ и ФИР ВМА ВМФ, 2015. – С.123–132.
3. *Максфилд К.* Проектирование на ПЛИС: Курс молодого бойца. – М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2007. – 408 с.
4. *Зотов В. Ю.* Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы Xilinx в САПР WebPACK ISE. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 520 с.
5. *Макунин А.А., Мальцев Г.Н., Панкратов А.В.* Анализ структуры исходных файлов проекта для программируемых логических интегральных схем // Информационно-управляющие системы. – 2014. – №6. – С. 94–100.

А.И. Замарин,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Д.А. Тавалинский,  
*доктор техн. наук, доцент*  
ЧВВИУР, г. Череповец;  
А.С. Цыганов

## **МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ ПРИЕМА ГРУППОВЫХ СИГНАЛОВ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

Представлены модель и информативные признаки группового сигнала спутниковых систем связи, а также метод выявления скрытых периодичностей цифровых информационных последовательностей и результаты экспериментального исследования сочетания служебных и информационных символов в последовательностях данных. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что выявление может базироваться на вычислении коэффициента избыточности цифрового потока.

Ключевые слова: скрытые периодичности, коэффициент избыточности цифрового потока, групповой сигнал современных спутниковых систем связи.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время, в эпоху телекоммуникаций, происходит повсеместное внедрение радиоаппаратуры в различных областях человеческой деятельности. Это обуславливает увеличение загруженности частотного ресурса и ухудшение помеховой обстановки, вызванной взаимным мешающим воздействием. На сегодняшний день наблюдается тенденция увеличения доли групповых сигналов, позволяющих эффективно использовать частотно-временной ресурс канала связи. [1, 2].

Используемые групповые сигналы, имеющие сложную частотно-временную структуру, обладают высокой помехоустойчивостью и низкой вероятностью доступа. Недостаточный уровень стандартизации, разнообразие используемых технических решений и активное применение систем оптимизации трафика приводят к сложностям при приеме и обработке данного вида сигналов в условиях априорной неопределенности относительно сигналообразования [3].

При решении задач радиомониторинга систем спутниковой связи (на этапе снятия неопределенности формирования пакетных данных канального уровня) возникает задача разделения пакетов группового цифрового потока на пакеты отдельных абонентских терминалов. Комбинация служебных символов в пакетах одного абонентского терминала имеет периодический характер. Вместе с тем в условиях априорной неопределенности относительно параметров сигналообразования группового сигнала периодичность служебных символов имеет скрытый характер для стороннего наблюдателя. Для решения задачи разделения группового цифрового потока необходимо оценить положение и конфигурацию служебных символов в передаваемых цифровых пакетах данных. Решению этой задачи посвящена статья.

## МОДЕЛЬ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ В ГРУППОВЫХ СИГНАЛАХ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Пусть групповой сигнал состоит из  $N$  сигналов абонентских терминалов, при этом каждый  $n$ -й терминал передает последовательность информационных символов

$$INF^{(n)} = \langle inf_1^{(n)}, inf_2^{(n)}, \dots, inf_{L^{(inf)}}^{(n)} \rangle, inf^{(n)} \in A^{(inf)}, n \in \{1 \dots N\},$$

где  $A^{(inf)}$  – алфавит информационных символов;

$L^{(inf)}$  – длина последовательности информационных символов.

При формировании пакета данных на передающей стороне происходит добавление к информационным символам  $n$ -го терминала определенной комбинации служебных символов, тогда

$$SYNC^{(n)} = \langle sync_1^{(n)}, sync_2^{(n)}, \dots, sync_{L^{(sync)}}^{(n)} \rangle, sync_{l^{(sync)}}^{(n)} \in A^{(sync)},$$

где  $A^{(sync)}$  – алфавит служебных символов (адресация, сигнализация, синхронизация и т.п.);

$L^{(sync)}$  – длина последовательности служебных символов.

Позиции служебных и информационных символов в структуре пакетов  $n$ -го абонентского терминала могут быть представлены следующим образом:

$$PS^{(n)} = \langle ps_1^{(n)}, ps_2^{(n)}, \dots, ps_{L_n^{(sync)}}^{(n)} \rangle, PI^{(n)} = \langle pi_1^{(n)}, pi_2^{(n)}, \dots, pi_{L_n^{(inf)}}^{(n)} \rangle.$$

В общем случае положение служебных и информационных элементов в передаваемом пакете данных можно описать таким выражением:

$$r_{l^{(pak)}}^n = \begin{cases} sync_{l^{(sync)}}^{(n)} & \text{при } l^{(rez)} = PS_{l^{(sync)}}^{(n)}, l^{(sync)} = 1(1)L^{(sync)}, \\ inf_{l^{(inf)}}^{(n)} & \text{при } l^{(rez)} = PI_{l^{(inf)}}^{(n)}, l^{(inf)} = 1(1)L^{(inf)}. \end{cases}$$

Массив, сформированный из пакетов цифровых данных, можно представить как

$$R_{[N^{(pak)}, L^{(pak)}]} = \|r_{i,j}^{(n)}\|, \text{ где } i = 1(1)N^{(pak)}, j = 1(1)L^{(pak)}.$$

В зависимости от текущих параметров сигналообразования абонентского терминала служебные символы могут занимать различные положения в передаваемых пакетах.

Вариант массива принятых данных со структурой передаваемых пакетов, имеющих псевдослучайный сдвиг начальной позиции сосредоточенной служебной информации, представлен на рис. 1.

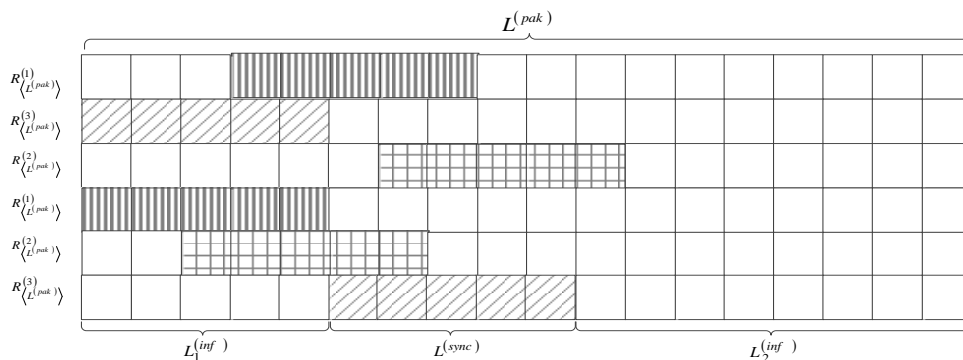


Рис. 1. Вариант фрагмента массива символов демодулированных пакетов с псевдослучайными позициями сосредоточенных символов служебной информации

Пусть за интервал наблюдения передается  $N^{(pak)}$  пакетов, при этом каждый пакет имеет псевдослучайные начальные позиции служебных символов. Значения сдвигов равномерно распределены на интервале  $0 \leq v_{n^{(pak)}}^{(сдвиг)} \leq v_{max}^{(сдвиг)}$ . Последовательность сдвигов обозначим в следующем виде:

$$V^{(сдвиг)} = \left\langle v_1^{(сдвиг)}, v_2^{(сдвиг)}, \dots, v_{N^{(pak)}}^{(сдвиг)} \right\rangle,$$

где  $v_{n^{(pak)}}^{(сдвиг)}$  – величина сдвига для  $n^{(pak)}$ -го пакета.

### ИНФОРМАТИВНЫЙ ПРИЗНАК НАЛИЧИЯ СКРЫТОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ В ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

С целью выявления закономерности в массиве цифровых данных предлагается вычислить коэффициенты избыточности в столбцах матрицы  $R'_{[N^{(pak)}, L^{(фрэг)}]}$ . Для вычисления коэффициентов избыточности необходимо сформировать фрагменты массива методом скользящего окна размером  $L^{(фрэг)}$  с шагом в один символ, при этом  $L^{(pak)} > L^{(фрэг)}$ . Совокупность всех фрагментов, сформированных из исходного массива, представим как

$$R'_{[N^{(pak)}, L^{(фрэг)}]} = \|r_{i,j}\|,$$

где  $i = 1(1)N^{(pak)}$ ;  $j = a(1)L^{(фрэг)} + a - 1$ ;  $a = 1(1)L^{(pak)} - L^{(фрэг)}$ .

Коэффициент избыточности определяется следующим выражением:

$$\varphi^{(изб)} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^J p_j \log_2 p_j}{\log_2 J},$$

где  $J$  – общее число возможных комбинаций символов;

$p_j$  – вероятности появления  $j$ -й комбинации символов.

Для расчета коэффициента избыточности необходимо определить размер комбинации  $L^{(симв)}$  и алфавит  $A^{(симв)}$  символов. При этом число возможных комбинаций символов составит  $J = N^{(комб)} = N^{(симв)L^{(симв)}}$ . Затем необходимо произвести подсчет числа появлений всех комбинаций символов в массив  $R'_{[N^{(pak)}, L^{(фрэг)}]}$ . Отношение числа появлений  $i$ -й комбинации к общему числу всех комбинаций массива  $R'_{[N^{(pak)}, L^{(фрэг)}]}$  можно считать оценкой вероятности появления  $j$ -й комбинации символов  $p_j$ , где  $j = 1(1)N^{(симв)L^{(симв)}}$ .

В результате вычисления коэффициента избыточности для всех фрагментов  $R'_{[N^{(pak)}, L^{(фрэг)}]}$  формируется последовательность

$$V^{(изб)} = \left\langle v_1^{(изб)}, v_2^{(изб)}, \dots, v_{L^{(изб)}}^{(изб)} \right\rangle.$$

Признаком наличия скрытой периодичности будем считать превышение значения коэффициента избыточности над некоторым пороговым значением. Поэтому на первоначальном этапе необходимо оценить пороговое значение для различных значений  $L^{(фрэг)}$ ,  $L^{(симв)}$  и

$N^{(симв)}$ . Для этого необходимо определить закон распределения значений избыточности для массива данных, элементами которого являются случайные величины.

В результате проведенных вычислений и проверки гипотез о законе распределения по методу А.Н. Колмогорова и Н.В. Смирнова было выявлено, что значения коэффициента избыточности могут быть аппроксимированы нормальным законом распределения. В качестве порогового выберем значение, при котором функция распределения  $F_{\hat{v}^{(изб)}}(v^{(изб)}) = 0,999$ .

На рис. 2 представлена плотность распределения значений коэффициента избыточности при значениях  $L^{(фраг)} = 2L^{(sync)}$ ,  $L^{(симв)} = 2$ ,  $N^{(симв)} = 4$ .

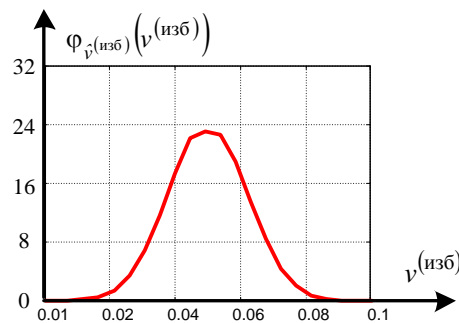


Рис. 2. Плотность распределения коэффициента избыточности случайной величины

При этом  $F_{\hat{m}^{(изб)}}(0,084) = 0,999$ , следовательно, пороговое значения  $v_{порог}^{(изб)} = 0,084$ . Превышение данного значения будет указывать на наличие некоторой закономерности в массиве символов.

Результаты вычисления оценок коэффициента избыточности для пакетов данных, имеющих сосредоточенное распределение служебных символов, представлены на рис. 3.

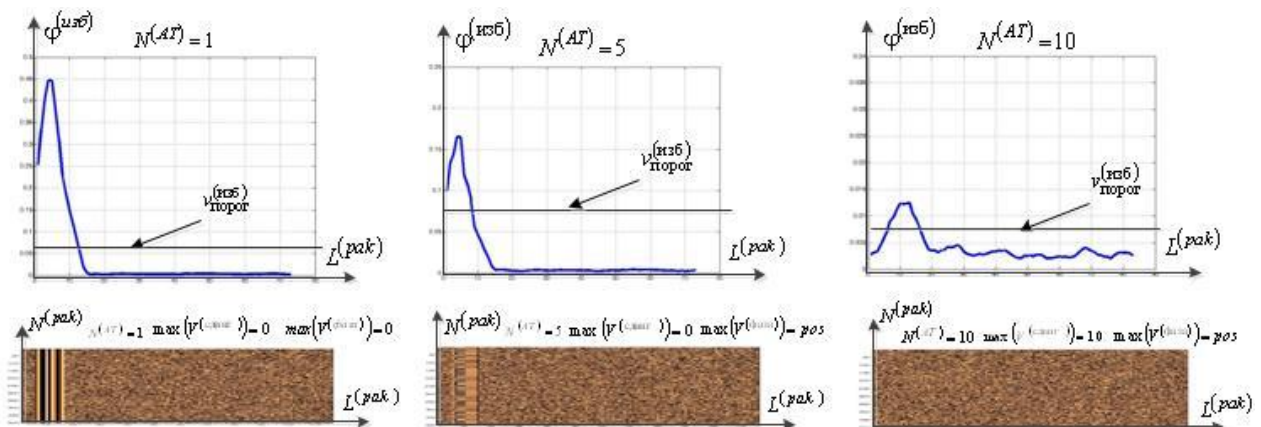


Рис. 3. Оценки коэффициента избыточности при различном количестве абонентских терминалов

Анализируя графики на рис. 3, можно сделать вывод о том, что коэффициент избыточности позволяет выявлять наличие периодичности появления символов в передаваемых пакетах данных и, как следствие, выявлять позиции служебных символов.

## МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ В ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ

Для выявления наличия и значений повторяющихся символов в цифровых информационных потоках необходимо уменьшить область поиска в формируемом на приеме массиве цифровых данных. Для этого необходимо определить область наиболее вероятных позиций размещения служебных символов:

$$\Theta = \langle \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{L(\Theta)} \rangle,$$

где  $\theta$  – номера позиций размещения служебных символов в строках массива  $R$ ;

$L(\Theta)$  – размер области размещения служебных символов.

При этом позициями размещения служебных символов являются номера элементов последовательности  $V^{(\text{изб})}$ , значения которых больше  $v_{\text{порог}}^{(\text{изб})}$ , следовательно,

$$\theta_{l(\Theta)} = l^{(\text{изб})}, \text{ при } v_{l^{(\text{изб})}}^{(\text{изб})} > v_{\text{порог}}^{(\text{изб})},$$

где  $l^{(\text{изб})} = 1(1)L^{(\text{изб})}$ ,  $l(\Theta) = 1(1)L(\Theta)$ .

На рис. 4 показана область возможного размещения служебных символов.

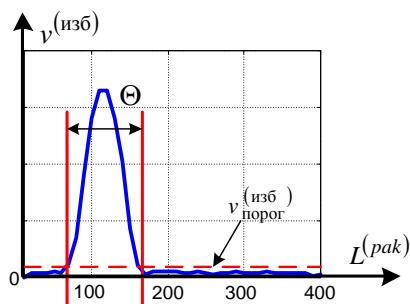


Рис. 4. Определение позиций размещения символов служебной информации

Для оценивания качества метода выявления скрытых периодичностей цифровых информационных последовательностей в условиях приема групповых сигналов цифровых систем передачи информации произведены практические вычисления вероятности правильного определения позиций и значений служебных символов для различного количества абонентских терминалов  $N^{(AT)}$ , участвующих в формировании группового сигнала, количества служебных символов  $L^{(sync)}$  и величины псевдослучайного сдвига положения служебных символов относительно начальной позиции. Вычисления проводились при количестве пакетов данных (строк массива данных)  $N^{(AT)} = 100$ . Результаты представлены на рис. 5.

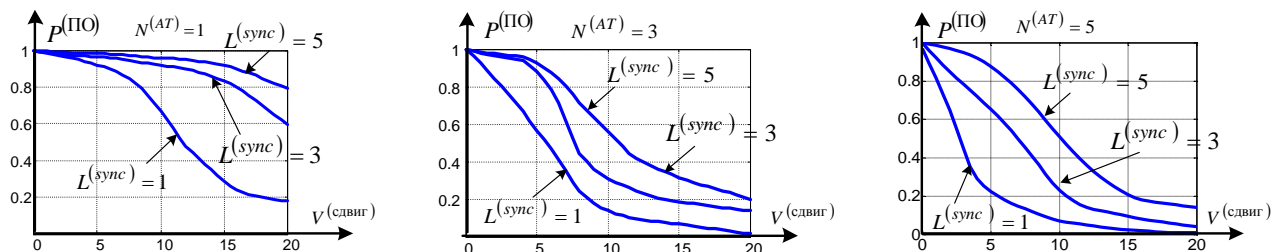


Рис. 5. Зависимости вероятности выявления служебных символов от величины сдвига

Увеличение интервала наблюдения и в силу этого рост числа пакетов данных при фиксированном числе абонентских терминалов ведут к увеличению вероятности правильного определения позиций и значений служебных символов (рис. 6).

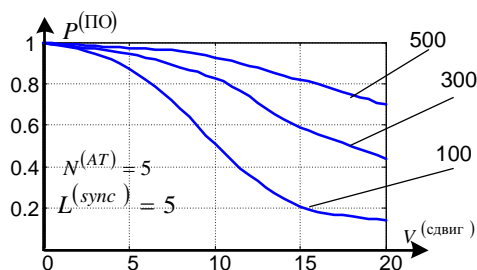


Рис. 6. Зависимость вероятности выявления служебных символов от величины выборки

Для проверки работоспособности метода в условиях наличия искажений принимаемого цифрового потока оценим вероятности положительного исхода при различных значениях символьной ошибки.

На рис. 7 представлены зависимости правильного обнаружения позиций служебных символов от величины сдвига относительно начальной позиции при числе абонентских терминалов  $N^{(AT)} = 5$ , количестве служебных символов  $L^{(sync)} = 5$  и количестве пакетов данных  $N^{(AT)} = 100$  при различных вероятностях символьной ошибки.

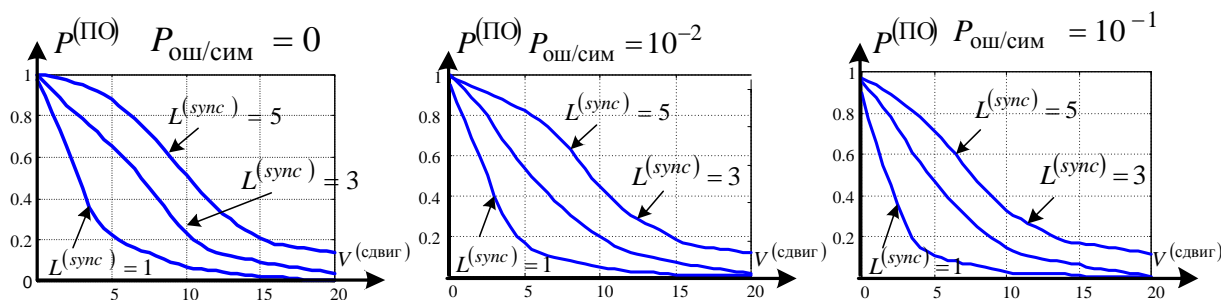


Рис. 7. Зависимости вероятности выявления служебных символов от величины сдвига при различных значениях ошибки на символ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанный научно-методический аппарат, включающий модель цифровых информационных последовательностей, информативный признак наличия скрытой периодичности и метод выявления скрытой периодичности в цифровых информационных последовательностях, позволяет выявлять служебные комбинации, что, в свою очередь, является основой для декомпозиции групповых сигналов современных спутниковых систем связи в рамках решения задачи радиомониторинга.

## Список используемых источников

1. Замарин А.И., Шишкин Н.В. Избыточность декодирования цифровых информационных потоков в вопросах идентификации параметров префиксных кодов источника // Информация и космос. – 2008. – №2. – С.26–31.

2. Последетекторный технический анализ цифровых последовательностей при идентификации сложных структур / А.И. Замарин, О.И. Атакищев, Д.А. Тавалинский, К.Ю. Рюмшин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – №1(52). – С.14–21.

3. *Еремеев И.Ю., Семенов К.В.* Особенности организации спутниковых сетей связи с применением технологии многочастотного доступа с временным разделением каналов // Научные технологии. – М.: Радиотехника, 2010. – №9. – С. 36–43.



В.Ф. Брагинец

*кандидат технических наук*  
филиал «ПНБО» АО «НПК «СПП»;

А.Н. Жуков

*кандидат технических наук*  
филиал «ПНБО» АО «НПК «СПП»

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО НАВИГАЦИОННО-БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС**

В статье приведено краткое описание и выполнена оценка достижимости требований по точности перспективной технологии высокоточного навигационно-баллистического обеспечения (НБО) КА с использованием отечественных глобальных функциональных дополнений системы ГЛОНАСС, разрабатываемых в интересах Минобороны России и Роскосмоса в рамках мероприятий федеральной целевой программы (ФЦП) «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы».

Ключевые слова: ГЛОНАСС, функциональные дополнения системы, эфемеридное и временное определение.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Федеральной целевой программой (ФЦП) «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» [1] предусмотрено создание следующих систем глобальных функциональных дополнений системы ГЛОНАСС:

– в интересах специальных потребителей – Система прецизионной навигации Министерства обороны (СПН МО), создаваемая в ОКР «Сантиметр» («Модернизация системы высокоточного определения эфемерид и временных поправок (СВОЭВП) с целью создания глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации в реальном времени для специальных потребителей» (ФЦП, приложение 7, раздел II, п. 44) [1]);

– в интересах гражданских потребителей – Система высокоточного определения эфемеридно-временной информации (СВО ЭВИ), создаваемая в ОКР «Сигал» («Создание глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации в реальном времени для гражданских потребителей на базе развития подсистемы сбора, анализа и предварительной обработки информации (ПСАГП)» (ФЦП, приложение 7, раздел II, п. 46) [1]).

В настоящей статье рассматриваются направления применения указанных систем для высокоточного навигационно-баллистического обеспечения КА военного и двойного назначения.

### **ТРЕБОВАНИЯ К НАВИГАЦИОННО-БАЛЛИСТИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ**

В перспективных космических системах землеобзора должны решаться задачи высокоточного определения координат положения, скорости и направления движения наземных,

морских и воздушных объектов в различных режимах съемки (детальной, маршрутной, обзорной), а также формирования цифровых моделей местности и рельефа в оперативном режиме. Анализ требований ТЗ на космические комплексы показывает, что для обеспечения указанного функционала точность навигационно-баллистического обеспечения перспективных КА в оперативном режиме должна находиться на уровне 2,0 м ( $3\sigma$ ). Выполнение столь высоких требований по точности в оперативном режиме возможно только по измерительной информации бортовой аппаратуры спутниковой навигации (АСН) навигационных систем ГЛОНАСС/GPS с возможностью обработки информации и получения решения в оперативном режиме непосредственно в бортовом комплексе управления КА.

### ВЫБОР МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫСОКОТОЧНОГО НБО КА В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ

В табл. 1 приведена оценка точности абсолютного режима навигации (без использования систем функциональных дополнений) по кодовым измерениям бортовой АСН при минимальном уровне ошибок, вызванных различными факторами.

Таблица 1

#### Точность определения положения позиционирования в оперативном режиме по кодовым измерениям ГНСС без использования систем функциональных дополнений

Источник ошибки	Ошибка (СКО), м	
	СТ-сигнал ГЛОНАСС L1, L2	С/А-сигнал GPS L1 (L2)
Эфемеридно-временная информация	0,7	0,7
Ионосфера *	0,1	7,0/0,1
Систематические аппаратурные погрешности	1,0	0,3
Случайные аппаратурные погрешности **	1,0/0,1	0,7/0,1
Отраженные сигналы (многолучевость)	1,0	1,0
Суммарная эквивалентная погрешность дальности (ЭПД)	2,2/2,0	7,2/1,5
Ошибка навигации (при HDOP=1,1)	4,9/4,4	15,8/3,2

\* В числителе приведены погрешности при использовании коэффициентов модели ионосферы, передаваемых в составе навигационного сообщения системы GPS, в знаменателе – при использовании измерений на второй частоте.

\*\* В числителе приведены погрешности кодовых измерений без сглаживания, в знаменателе – при сглаживании фазовыми измерениями.

Анализ данных табл. 1 показывает, что в оперативном режиме точность навигации, определяемая абсолютным методом по кодовым измерениям без использованием систем функци-

ональных дополнений ГЛОНАСС, недостаточна для решения целевых задач КА ни по данным системы ГЛОНАСС, ни по данным системы GPS. Для обеспечения заданной точности навигации в оперативном режиме необходимо использование фазовых измерений, ассистирующих данных систем функциональных дополнений (СФД), а также специальных технологий обработки информации в АСН, основанных на методе прецизионной навигации по двухчастотным кодовым и фазовым измерениям с использованием высокоточной эфемеридно-временной информации ГНСС от систем функциональных дополнений, который в литературе получил название PPP-метода (Precision Position Point).

### ПРИНЦИПЫ ВЫСОКОТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ КА В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АССИСТИРУЮЩИХ ДАННЫХ ОТ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ

В PPP-алгоритме высокоточного местоопределения используются два вида измерений навигационных приемников – измерения псевдодальностей и псевдофаз.

Характерной особенностью псевдофазовых измерений, которая создает значительные трудности их обработки, является неоднозначность этих измерений, заключающаяся в том, что псевдофазовые измерения содержат в своем составе неопределенное целое число циклов, которое в математической модели псевдофазовых измерений описывается неопределенным целым числом  $N_A^i$ . Следовательно,

$$\phi_A^i(t) + f^i dt^i(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_A^i(t) + N_A^i + f^i dt_A(t). \quad (1)$$

В формуле (1) используются следующие обозначения:

- $\phi_A^i(t)$  – измеренная фаза несущей, выраженная в циклах;
- $\lambda$  – длина волны;
- $N_A^i$  – целочисленная неоднозначность фазы;
- $\rho_A^i(t)$  – геометрическая дальность, как и в модели для кодовых измерений;
- $f^i$  – частота сигнала спутника;
- $dt^i(t)$  и  $dt_A(t)$  – поправки часов соответственно для спутника и приемника.

При обработке псевдофазовых измерений приходится учитывать как их неоднозначность, так и возможное скачкообразное целочисленное изменение этой неоднозначности. С математической точки зрения это приводит к тому, что при обработке псевдофазовых измерений рост числа оцениваемых параметров происходит быстрее, чем рост числа измерений. При этом возможен как вещественный, так и целочисленный подход к разрешению неоднозначности фазовых измерений [2].

Алгоритм высокоточного определения координат по фазовым измерениям реализует два базовых принципа, обеспечивающих высокую точность местоопределения:

- использование высокоточной эфемеридно-временной информации;
- компенсация систематических смещений в исходных измерениях псевдодальностей и псевдофаз.

Укрупненная блок-схема алгоритма высокоточного местоопределения представлена на рис. 1. Указанные операции выполняются на каждый момент (эпоху) измерений.

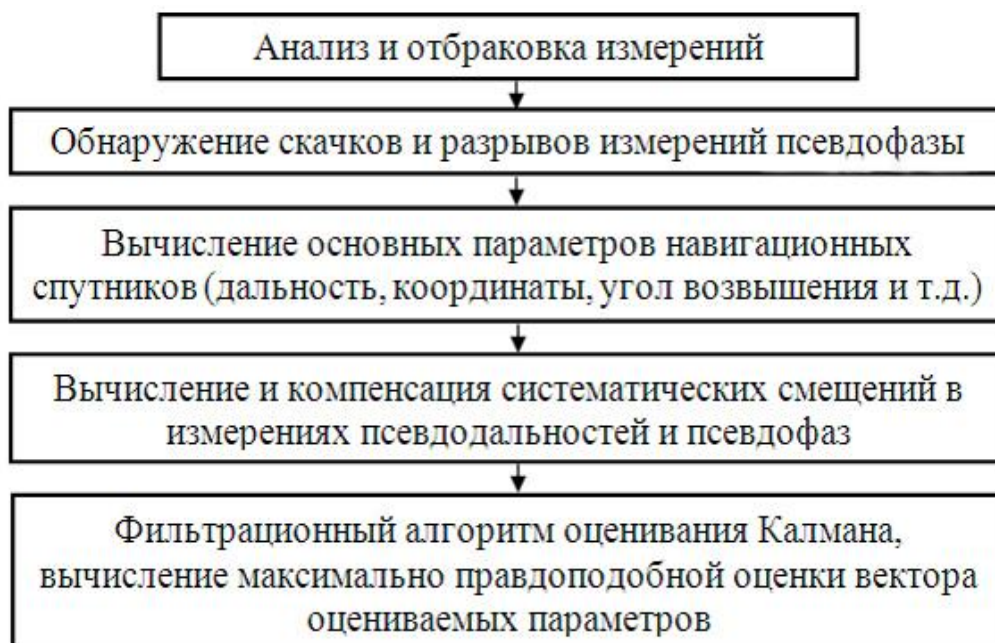


Рис. 1. Укрупненная блок-схема PPP-алгоритма навигации

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО НАВИГАЦИОННО-БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ ГЛОНАСС

В общем случае система функционального дополнения (СПН МО, СВО ЭВИ) работает следующим образом. Центр управления системой (ЦУС) проводит контроль качества всей собираемой измерительной информации от собственной сети базовых станций и уточнение ЭВИ ГНСС в режиме реального времени.

Информация поступает от сети измерительных станций и других центров обработки данных. В ЦУС выполняются краткосрочное прогнозирование ЭВИ реального времени для формирования высокоточной ассистирующей навигационной информации и выдача информации в реальном времени через подсистему доставки информации по наземным и космическим каналам связи.

Предполагается, что в АСН КА ассистирующая информация будет доставляться по спутниковым каналам связи. В качестве спутниковых каналов связи для передачи АИ могут использоваться каналы геостационарных КА (типа «Луч-5М», «Экспресс») в L-диапазоне. Соответствующие работы по созданию бортового радиотехнического комплекса КА-ретранслятора проводятся в рамках ФЦП в ОКР «КФД-В» [1].

Структурная схема реализации оперативного высокоточного навигационно-баллистического обеспечения КА с использованием систем функциональных дополнений СПН МО или СВО ЭВИ показана на рис. 2.

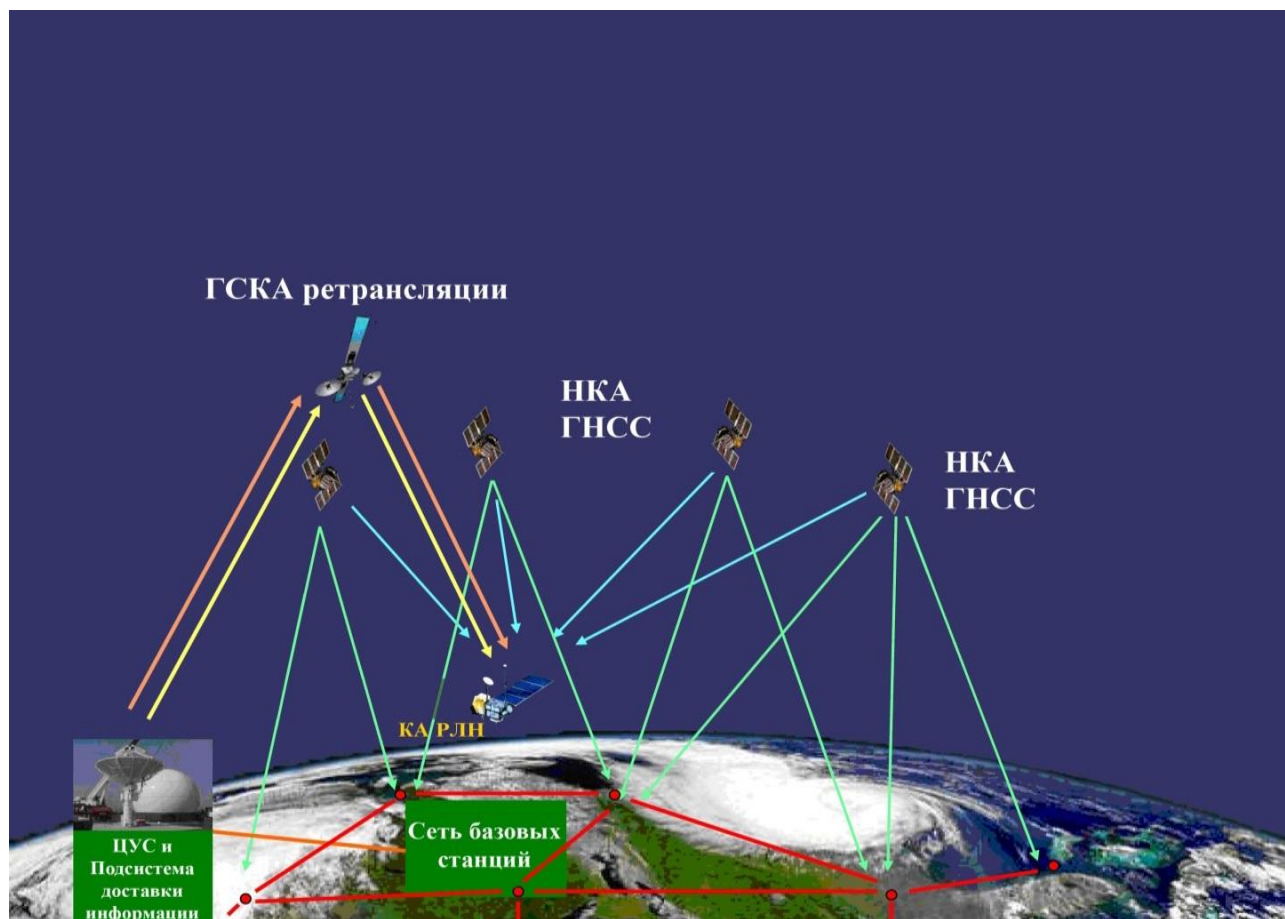


Рис. 2. Структурная схема реализации ассистирующей технологии ГНСС

Таким образом, для реализации высокоточной технологии НБО в оперативном режиме требуется создание специализированной бортовой АСН, обеспечивающей определение положения КА с применением специализированных алгоритмов обработки сигналов ГНСС и использованием ассистирующей информации в реальном времени. АСН должна быть выполнена на базе многодиапазонной бортовой навигационной аппаратуры для получения измерений текущих навигационных параметров движения КА по сигналам СТ и ВТ (L1/L2) ГНС ГЛОНАСС, С/А сигнала (L1) и гражданского сигнала L2 ГНС GPS, а также перспективных сигналов от НКА ГЛОНАСС на частоте L3. АСН должна обеспечивать среднеквадратическое значение суммарных аппаратурных погрешностей (СКО) измерений: по псевдодальности – не более 0,3 м, по псевдодальности по фазе несущей частоты – не более 0,001 м.

Для приема ассистирующих данных в реальном времени в формате RTCM АСН должна быть оснащена специальным модулем. При этом предполагается, что для приема навигационных сигналов ГНСС и ассистирующих данных с геостационарных спутников-ретрансляторов будет использоваться одна и та же антенна L-диапазона. Также АСН должна быть оснащена специализированным вычислительным модулем, реализующим PPP-технология, блок-схема которой представлена на рис. 3. При этом темным фоном выделены блоки, отличающие АСН КА от существующей аппаратуры спутниковой навигации. В настоящее время образцы такой аппаратуры (для наземного применения) разрабатываются в рамках выполнения ОКР «Сантиметр» и «Сигал» [2].

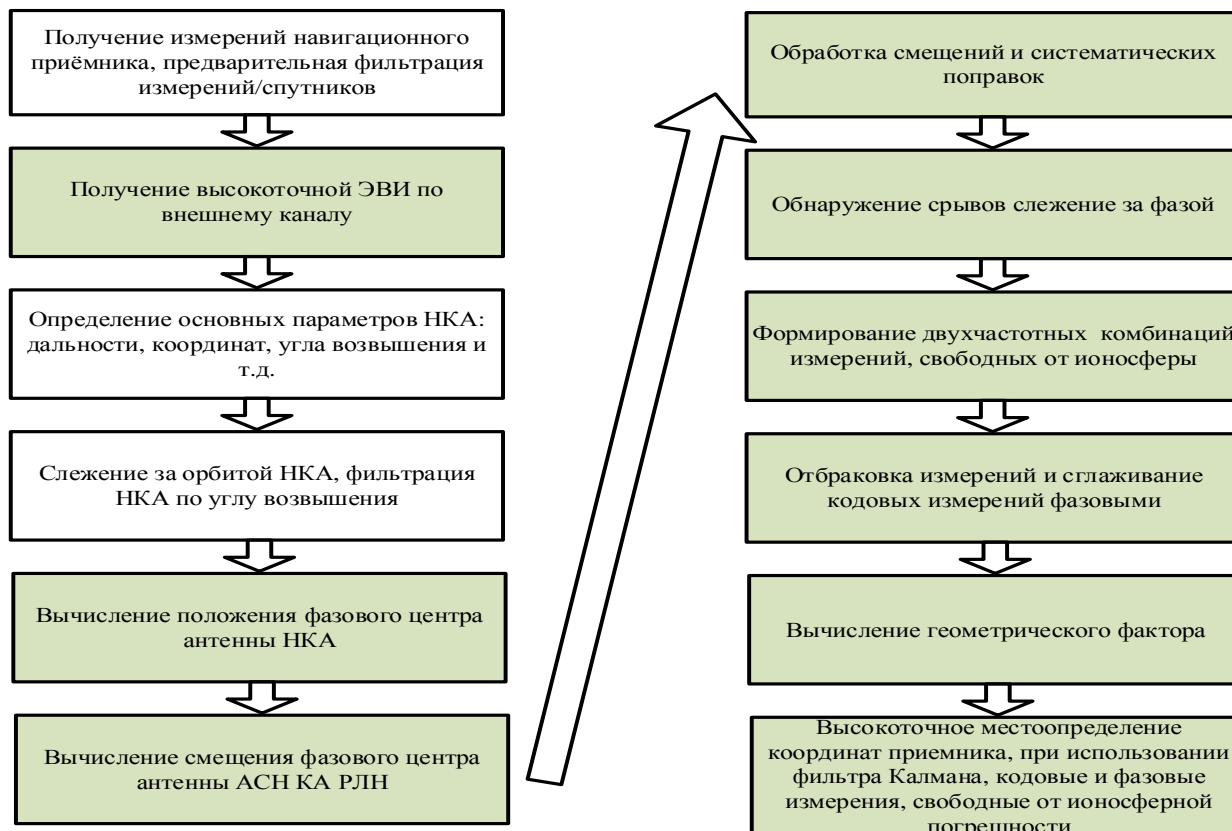


Рис. 3. Блок-схема алгоритма высокоточного навигационного обеспечения в АСН

### ОЦЕНКА ДОСТИЖИМОСТИ ЗАДАНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННО-БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ

В настоящее время в мире функционирует единственная система функционального дополнения ГНСС, реализующих PPP-технологии для орбитальных потребителей – Global Differential GPS (GDGPS). Эта система входит в структуру NASA, реализуется службой Position, Navigation & Timing (PNT) и использует в качестве основы базовые станции сети, вычислительные ресурсы и космические средства ретрансляции NASA. С использованием GDGPS осуществляется высокоточное определение параметров движения КА Champ, GRACE, COSMIC, Jason, SAC-C [3]. Достигнутые точности координатно-временного обеспечения орбитальных потребителей в системе GDGPS [4] приведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Точность координатно-временного обеспечения с использованием глобальной системы функциональных дополнений GDGPS

Координатные и временные параметры	По сигналам GPS	По сигналам GPS и ассистирующим данным GDGPS
Положение КА в реальном времени	1–5 м	0,1–0,3 м
Передача информации о целостности	Нет	Есть

В АО «НПК «СПП» при выполнении работ по созданию СПН МО и СВОЭВИ было проведено имитационное моделирование предлагаемой технологии на макетном образце прием-

ника в режиме статики и динамики (до 10 км/ч). Оценивались статистические характеристики ошибок позиционирования по уровню вероятности 0,95 (2СКО) после интервала сходимости решения длительностью 30 мин. Обобщенные результаты оценки точностных характеристик местоопределения по ассистирующей информации, сформированной в реальном времени, приведены в табл. 3.

Таблица 3

### Точностные характеристики навигационного решения в реальном времени

Параметры	Стат. оценки – математическое ожидание и СКО ошибки, м					
	GPS+GLONASS		GPS		GLONASS	
	М	2*СКО	М	2*СКО	М	2*СКО
Широта	0,006	0,093	0,005	0,098	0,009	0,126
Долгота	-0,049	0,034	-0,005	0,043	-0,066	0,055
Высота	-0,014	0,050	-0,007	0,109	0,009	0,105

Плановая ошибка позиционирования после 30 мин сходимости в совместном решении по системам ГЛОНАСС и GPS показана на рис. 4.

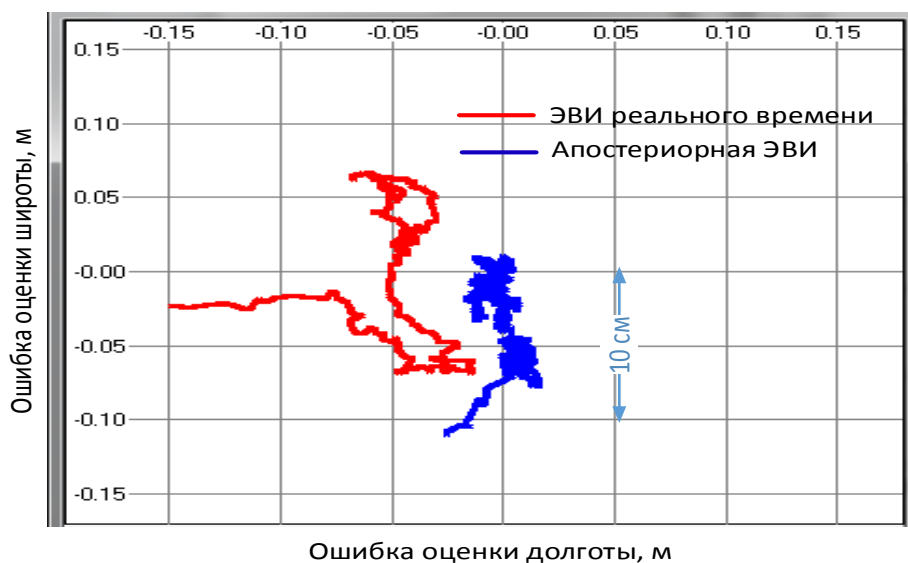


Рис. 4. Плановая ошибка позиции после 30 мин сходимости решения для созвездия GPS + ГЛОНАСС

Результаты эксперимента позволяют сделать вывод, о достижимости заданных требований по точности навигационно-баллистического обеспечения КА в реальном времени в режиме высокоточного абсолютного позиционирования при использовании данных системы функциональных дополнений специальных потребителей (Системы прецизионной навигации Министерства обороны и Системы высокоточного определения эфемеридно-временной информации). В то же время проблемой является значительное время сходимости к точному решению, которое в режиме вещественного разрешения фазовой неоднозначности может достигать 30 мин, что не приемлемо для высокодинамичных объектов, таких как КА. Решением этой проблемы является целочисленное разрешение неоднозначности фазовых измерений. Это позволяет существенно сократить время получения абсолютных координат потребителя и приблизиться к определению местоположения в оперативном режиме (в квазиреальном масштабе времени). Данный режим обработки измерений в иностранной литературе получил

название Integer PPP. По результатам оценивания [11] сделан вывод о том, что использование процедуры разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений существенно повышает точность местоопределения и уменьшает период сходимости. Реализация процедуры Integer PPP возможна лишь при наличии ассистирующих данных (эфмеридно-временной информации реального времени), вычисленных с точностью не хуже 0,1 м, а также при обработке измерительной информации на трех частотах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокоточная технология навигационно-баллистического обеспечения КА военного и двойного назначения в оперативном режиме должна строиться на использовании специализированной бортовой аппаратуры спутниковой навигации, реализующей перспективную технологию высокоточной навигации по фазовым измерениям ГНС ГЛОНАСС и GPS (PPP-технологию) с использованием ассистирующих данных реального времени от глобальных функциональных дополнений системы ГЛОНАСС, создаваемых по заказу Минобороны России (Система прецизионной навигации Министерства обороны, ОКР «Сантиметр») и Роскосмоса (Система высокоточного определения эфмеридно-временной информации, ОКР «Сигал»).

## Список используемых источников

1. Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы: федеральная целевая программа. – Утв. Постановлением Правительства РФ от 03.03.2012 № 189.
2. Брагинец В.Ф., Жуков А.Н. Перспективы развития функциональных дополнений системы ГЛОНАСС для обеспечения высокоточного определения положения в реальном времени и в апостериорном режиме // Труды Института прикладной астрономии РАН. – 2013. – Вып. 27.
3. Dorsey A.-R., Meehan T., Munson T. Use SAC-C as a Tested for Precise Onboard Orbit Determination // Jet Propulsion Laboratory. – 2010.
4. James J. Miller Use of GPS/GNSS for Future NASA missions // GNSS Workshop: Asia-Pacific Regional Space Agency Forum, January 25-26. – 2010.



И.А. Готюр,  
*доктор техн. наук;*  
П.А. Прохоренко

## **МОДЕЛЬ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

В статье описана модель космической системы гидрометеорологического обеспечения, позволяющая обеспечить единый подход к проектированию систем космических аппаратов гидрометеорологического назначения. Модель построена на основе анализа требований к гидрометеорологической информации, получаемой с помощью космических аппаратов. Использование модели позволяет обосновать требования к космической системе гидрометеорологического обеспечения с позиции улучшения качества получаемой гидрометеорологической информации, а следовательно, и с позиции повышения эффективности функционирования проектируемой системы.

Ключевые слова: модель, качество гидрометеорологической информации, требования к гидрометеорологической информации, космические аппараты (КА) гидрометеорологического назначения, метеорологические искусственные спутники Земли, баллистическая структура системы космических аппаратов.

### **ВВЕДЕНИЕ**

На современном этапе развития науки и техники все большую популярность при решении задач гидрометеорологического обеспечения (ГМО) приобретает использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Гидрометеорологическая информация, получаемая с помощью космических аппаратов (ГМИ-КА), используется различными министерствами и ведомствами. Основную часть (по оценкам экспертов до 70%) исходных данных для гидродинамических прогностических моделей различного масштаба, используемых для прогнозирования в центрах погоды различного уровня, в том числе и мирового, составляет именно ГМИ-КА. Главным достоинством ГМИ-КА является ее глобальность, что особенно ценно для освещения гидрометеорологическими наблюдениями труднодоступных для традиционных способов наблюдений (наземные гидрометеорологические станции и посты, наземные аэрологические станции и др.) территорий (пустыни, арктические и антарктические зоны, океаны и др.). В настоящее время глобальность ГМИ-КА достигается за счет международного обмена данными ДЗЗ, получаемыми от различных национальных группировок космических аппаратов (КА) гидрометеорологического назначения. Указанные группировки КА строятся по различному принципу и из различных соображений. Анализ публикаций, посвященных вопросу обоснования состава и структуры систем КА гидрометеорологического назначения (в частности, [1, 2]), показал, что единого подхода к решению этой задачи нет. Таким образом, складывается ситуация, в которой, с одной стороны, ценность и области использования ГМИ-КА постоянно возрастают, а с другой – единые научно обоснованные подходы к проектированию систем КА гидрометеорологического назначения отсутствуют. Прежде всего это связано с тем, что модели, положенные в их основу, не в полной мере учитывают целевое предназначение космической системы гидрометеорологического обеспечения (КСГМО) в целом.

### **ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Под КСГМО понимается совокупность КА гидрометеорологического назначения с установленной на них целевой аппаратурой, а также наземных пунктов приема и обработки дан-

ных ДЗЗ с реализованными методами тематической обработки, находящихся во взаимной связи и функционирующих как одно целое.

Целью функционирования КСГМО является обеспечение потребителей качественной ГМИ. Как известно, качество – это свойство или совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению [3]. Таким образом, применительно к ГМИ можно определить, что качество ГМИ – совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность для ГМО какой-либо задачи. К основным свойствам ГМИ прежде всего можно отнести:

- точность;
- достоверность;
- репрезентативность;
- полноту;
- актуальность;
- оперативность.

Под точностью ГМИ понимается степень близости имеющихся значений гидрометеорологических величин к их истинным (реальным) значениям.

Достоверность ГМИ – это степень соответствия нашего знания о природной среде реальному ее состоянию, т.е. степень адекватности представлений реальному состоянию среды.

Так как любое полученное нами значение гидрометеорологической величины есть ее оценка (решение относительно значения этой величины, принятое по результатам определенных наблюдений [4]), то для математической интерпретации точности и достоверности гидрометеорологических величин возможно использовать аппарат математической статистики. В таком случае показателем точности оценивания какой-либо гидрометеорологической величины является доверительный интервал

$$I_{\beta}(m) = [\tilde{m} - \varepsilon_{\beta}, \tilde{m} + \varepsilon_{\beta}], \quad (1)$$

а показателем достоверности – доверительная вероятность

$$\beta_{\varepsilon}(m) = P(\tilde{m} - \varepsilon_{\beta} \leq m \leq \tilde{m} + \varepsilon_{\beta}). \quad (2)$$

В выражениях (1), (2)  $m$  – истинное значение оцениваемой гидрометеорологической величины,  $\tilde{m}$  – оценка значения этой величины,  $\varepsilon_{\beta}$  – максимальная вероятная погрешность оценивания гидрометеорологической величины.

Таким образом, критерий точности и достоверности оценивания какой-либо гидрометеорологической величины будет иметь вид

$$\begin{cases} \varepsilon_{\beta_{\text{тр}}} \geq \varepsilon_{\beta} \\ \beta_{\varepsilon_{\text{тр}}} \leq \beta_{\varepsilon} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{\beta_{\text{тр}}}$  и  $\beta_{\varepsilon_{\text{тр}}}$  – требуемые величины максимальной вероятной погрешности оценивания и доверительной вероятности соответственно.

Репрезентативность ГМИ – характерность, показательность ГМИ, полученной в одном пункте для действительного общего состояния природной среды в пределах более или менее обширного района. Чем меньше отличается величина гидрометеорологического параметра, измеренная в данном пункте, от величины этого элемента, осредненной по всей площади района, тем больше репрезентативность в этом пункте. В общем случае репрезентативность ГМИ связана с размещением сети гидрометеорологических станций (измерителей). Необходимо, чтобы погрешность интерполяции гидрометеорологической величины в любую точку территории по данным окружающих эту точку пунктов измерений не превышала некоторое требуемое (наперед заданное) значение. Следовательно, требования к репрезентативности ГМИ есть, по сути, требования к пространственному разрешению ГМИ, а показатель репре-

зентативности есть пространственное разрешение ГМИ  $r_{\text{ГМИ}}$ . Критерий репрезентативности ГМИ в этом случае можно представить в виде

$$r_{\text{тр}} \geq r_{\text{ГМИ}}, \quad (4)$$

где  $r_{\text{ГМИ}}$  – пространственное разрешение ГМИ;

$r_{\text{тр}}$  – требуемое пространственное разрешение ГМИ.

Полнота ГМИ включает в себя глобальность, трехмерность и комплексность. Это обуславливается тем, что ГМИ должна поступать в прогностические центры с прилегающих территорий, соизмеримых с размерами океанов и континентов, что определяется масштабностью и довольно быстрой перестройкой гидрометеорологических процессов. Кроме того, ГМИ должна характеризовать состояние среды как у Земли, так и на высотах. Также в состав ГМИ должен входить комплекс наблюдений за погодой – давление, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, осадки, явления погоды и т.п., что определяется необходимостью выявления закономерностей развития гидрометеорологических процессов.

Так как перечень необходимых для ГМО гидрометеорологических величин определяется спецификой обеспечиваемых задач, то под комплексностью будем понимать именно этот перечень [в том числе и данные на различных уровнях (горизонтах) атмосферы (гидросферы)], а не все доступные величины. Таким образом, из всех возможных гидрометеорологических величин для ГМО будет требоваться только часть гидрометеорологических величин, необходимых для решения конкретных задач. Эти величины можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} M^* = \{m_1^*, m_2^*, \dots, m_N^*\} \\ M_{\text{тр}}^* = \{m_1^*, m_2^*, \dots, m_n^*\}, \\ M_{\text{тр}}^* \subseteq M^* \end{cases} \quad (5)$$

где  $M^*$  – множество гидрометеорологических величин;

$M_{\text{тр}}^*$  – множество гидрометеорологических величин, требуемых для решения задач ГМО;

$m_N^*$  – гидрометеорологическая величина.

В таком случае показателем комплексности ГМИ будет множество гидрометеорологических величин, получаемых для решения задач ГМО  $M^{*'}$ , а критерий комплексности будет иметь вид

$$(M_{\text{тр}}^* \subseteq M^{*'}) \cong U, \quad (6)$$

где  $M^{*'}$  – множество гидрометеорологических величин, получаемых для решения задач ГМО;

$U$  – достоверное событие.

Для достижения глобальности ГМИ необходимо получать ее с территории всей Земли. Это осуществляется соответствующим построением системы гидрометеорологических наблюдений.

Актуальность ГМИ – это важность (ценность) ГМИ для настоящего времени. Актуальность ГМИ определяется ее пригодностью для решения конкретных задач ГМО в момент использования.

Оперативность ГМИ – скорость поступления ГМИ к потребителю. Другими словами – это промежуток времени с момента возникновения данной информации до момента, когда она попадет к потребителю.

Нетрудно заметить, что актуальность ГМИ и ее оперативность зависимы, так как если скорость поступления ГМИ к потребителю будет мала, то информация будет устаревать

прежде, чем ее смогут использовать для ГМО. Другими словами, только оперативная ГМИ может быть актуальной. Временная шкала, позволяющая наглядно представить зависимость оперативности и актуальности ГМИ, изображена на рис. 1.

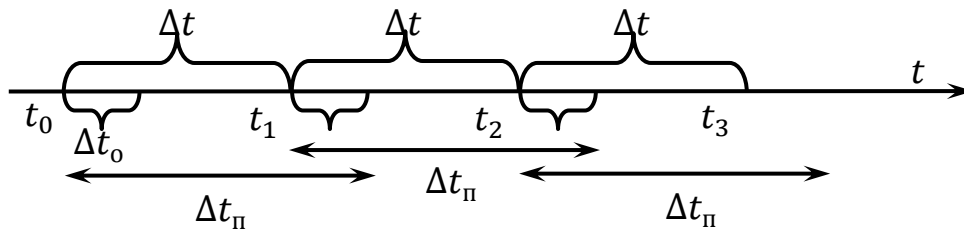


Рис. 1. Временная шкала производства гидрометеорологических наблюдений

На рис. 1 введены следующие обозначения:  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  – время производства гидрометеорологических наблюдений (моменты возникновения ГМИ);  $\Delta t$  – временное разрешение ГМИ;  $\Delta t_0$  – оперативность ГМИ (промежуток времени, требуемый для передачи ГМИ потребителю);  $\Delta t_{\text{п}}$  – периодичность поступления ГМИ. Из анализа рис. 1 следует, что

$$\Delta t_{\text{п}} = \Delta t + \Delta t_0. \quad (7)$$

В таком случае показателем актуальности ГМИ будет  $\Delta t_{\text{п}}$ . На практике вместо требований к актуальности и оперативности ГМИ (если отсутствуют отдельные требования) выдвигаются требования именно к периодичности поступления ГМИ. В таком случае критерий актуальности ГМИ будет иметь вид

$$\Delta t_{\text{тр}} \geq \Delta t_{\text{п}}, \quad (8)$$

где  $\Delta t_{\text{тр}}$  – требуемая периодичность поступления ГМИ (промежуток времени, в течение которого ГМИ должна оставаться актуальной).

Обобщая сказанное выше, можно сделать вывод, что показатель качества ГМИ будет иметь следующий вид:

$$\{M^*, \varepsilon_{\beta}, \beta_{\varepsilon}, r_{\text{ГМИ}}, \Delta t_{\text{п}}\}. \quad (9)$$

Обобщив частные критерии пригодности отдельных свойств ГМИ (3), (4), (6), (8), мы получим критерий пригодности качества ГМИ следующего вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} (M_{\text{тр}}^* \subseteq M^*) \cong U \\ \varepsilon_{\beta_{\text{тр}}} \geq \varepsilon_{\beta} \\ \beta_{\varepsilon_{\text{тр}}} \leq \beta_{\varepsilon} \\ r_{\text{тр}} \geq r_{\text{ГМИ}} \\ \Delta t_{\text{тр}} \geq \Delta t_{\text{п}} \end{array} \right. . \quad (10)$$

Множество вида

$$\{M_{\text{тр}}^*, \varepsilon_{\beta_{\text{тр}}}, \beta_{\varepsilon_{\text{тр}}}, r_{\text{тр}}, \Delta t_{\text{тр}}\} \quad (11)$$

представляет собой требования к получаемой ГМИ, которые выдвигаются потребителем.

## МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрим описанные требования к ГМИ и критерии пригодности ее качества применительно к ГМИ-КА.

Для осуществления глобального обзора поверхности Земли необходимо, чтобы ширина полосы обзора фронтальной группы КА составляла [5]

$$\Delta\lambda_{\text{э}} = \pi + \frac{\Delta\lambda_{\text{МВ}}}{2}. \quad (12)$$

В выражении (12)  $\Delta\lambda_{\text{э}}$  – ширина полосы обзора фронтальной группы КА,  $\Delta\lambda_{\text{МВ}}$  – межвитковое расстояние. Превышение величины  $\Delta\lambda_{\text{э}}$  на половину межвиткового расстояния сверх  $\pi$  обеспечивает компенсацию вращения Земли за время разрыва в наблюдении.

Под фронтальной группой КА понимается совокупность  $a$  КА, расположенных на одной широте на орбитах одинаковых радиусов и наклонений и образующих совместную полосу обзора шириной

$$\Delta\lambda_{\text{э}} = a\Delta\lambda'_{\text{э}}, \quad (13)$$

где  $\Delta\lambda'_{\text{э}}$  – ширина полосы обзора одного КА.

Для вычисления межвиткового расстояния, входящего в выражение (12), необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$\Delta\lambda_{\text{МВ}} = 2\pi \frac{T_{\Omega}}{T_{\text{эф}}}, \quad (14)$$

где  $T_{\Omega}$  – период обращения КА вокруг Земли;

$T_{\text{эф}}$  – эффективные сутки.

Из выражения (13) получим формулу для нахождения количества КА во фронтальной группе

$$a = \frac{\Delta\lambda_{\text{э}}}{\Delta\lambda'_{\text{э}}}. \quad (15)$$

Выведем выражение для нахождения полосы обзора одного КА. Для этого рассмотрим условия наблюдения поверхности Земли из космоса, представленные на рис. 2.

На рис. 2 КА находится в точке  $A$ , точка  $O$  – центр Земли, дуга  $BC$  – полоса обзора КА,  $\gamma$  – угол обзора целевой аппаратуры КА,  $\varphi_{\text{з}}$  – геоцентрический угол,  $\delta$  – минимальный угол возвышения над горизонтом точки наблюдения.

При расчетах будем применять систему допущений, используемую при вычислении характеристик невозмущенного кругового движения [6]:

- центральное тело является сферой;
- движение КА происходит под действием только силы притяжения центрального тела;
- ускорение силы тяжести направлено к центру центрального тела, и его абсолютная величина определяется по формуле Ньютона  $g = \mu/r^3$ , где  $\mu$  – постоянный коэффициент, равный произведению гравитационной постоянной на массу небесного тела (для Земли  $\mu = 3,986 \cdot 10^5 \text{ км}^5/\text{с}^2$ ).

Как видно из рис. 2, полоса обзора КА представляет собой дугу  $BC$ , длина которой вычисляется по следующей геометрической формуле:

$$BC = \pi * OB * \frac{BOC}{180^\circ}. \quad (16)$$

В выражении (16) отрезок  $OB$  является радиусом Земли  $R_3=6371$  км, а угол  $BOC=2\varphi_3$ . Таким образом, получаем следующее выражение для полосы обзора одного КА:

$$\Delta\lambda'_3 = \frac{\pi R_3 \varphi_3}{90}. \quad (17)$$

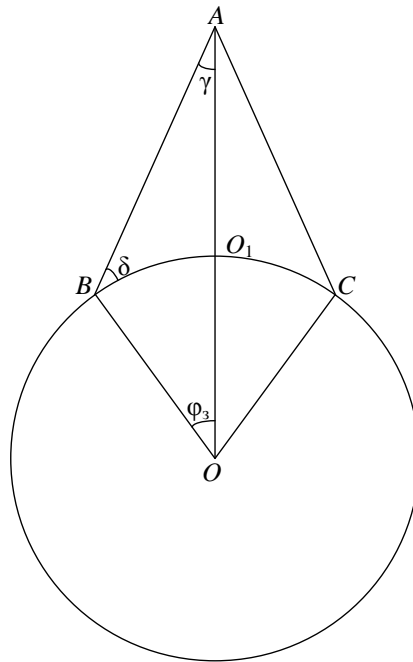


Рис. 2. Условия наблюдения поверхности Земли из космоса

Из [5] известно, что

$$\varphi_3 = 90^\circ - \gamma - \delta. \quad (18)$$

Для нахождения угла обзора целевой аппаратуры КА  $\gamma$  по теореме синусов из треугольника  $AOB$  (рис.2) получаем:

$$\frac{\sin \gamma}{R_3} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} + \delta)}{r}, \quad (19)$$

где  $r$  – радиус орбиты КА (отрезок  $OA$  на рис. 2).

Из выражения (19) следует, что

$$\gamma = \sin^{-1} \left( \frac{R_3 \sin(\frac{\pi}{2} + \delta)}{r} \right). \quad (20)$$

Учитывая, что для получения качественных данных ДЗЗ необходимо, чтобы  $\delta \geq 20^\circ$  [7], с использованием выражений (18) и (20) получаем

$$\varphi_3 = 70^\circ - \sin^{-1} \left( \frac{R_3 \sin 110^\circ}{r} \right). \quad (21)$$

Из [6] известно, что период обращения КА вокруг Земли (для квазикруговой орбиты) находится по следующей формуле:

$$T_{\Omega} = \frac{2\pi r^{3/2}}{\sqrt{\mu}}. \quad (22)$$

Выразим радиус орбиты КА из формулы (22):

$$r = \left( \frac{T_{\Omega} \sqrt{\mu}}{2\pi} \right)^{2/3}. \quad (23)$$

Подставляя (21) и (23) в (17), получаем окончательное выражение для расчета максимальной полосы обзора КА при заданном периоде обращения

$$\Delta\lambda'_3 = \frac{\pi R_3 \left( 70^\circ - \sin^{-1} \left( \frac{R_3 \sin 110^\circ}{(T_{\Omega} \sqrt{\mu} / 2\pi)^{2/3}} \right) \right)}{90^\circ}. \quad (24)$$

Таким образом, с помощью выражений (12), (14), (15) и (24) мы можем получить количество КА гидрометеорологического назначения во фронтальной группе при известном периоде обращения КА вокруг Земли.

Учитывая, что результаты функционирования моделируемой КСГМО и ее орбитальной группировки КА гидрометеорологического назначения должны удовлетворять требованиям к ГМИ (11), необходимо установить связь между требованиями к ГМИ и периодом обращения КА вокруг Земли. Очевидно, что период обращения КА вокруг Земли непосредственно связан с периодичностью поступления ГМИ-КА.

Согласно выражению (7) периодичность поступления ГМИ складывается из временного разрешения ГМИ и ее оперативности. Для ГМИ-КА, при нахождении в плоскости орбиты одного КА, временное разрешение будет равно периоду обращения КА вокруг Земли  $T_{\Omega}$ , а оперативность поступления будет изменяться в промежутке  $(0; T_{\Omega})$  (при передаче данных ДЗЗ один раз за виток). Аналогично для нахождения в плоскости орбиты двух КА с противоположным направлением движения, имеем временное разрешение равное  $T_{\Omega}$  и оперативность поступления в промежутке  $(0; T_{\Omega}/2)$  соответственно. Для четырех КА в плоскости орбиты,двигающихся попарно в противоположных направлениях, имеем временное разрешение, равное  $T_{\Omega}/2$ , и оперативность поступления в промежутке  $(0; T_{\Omega}/2)$ . Количество КА в плоскости орбиты находится методом перебора возможных вариантов построения системы КА и представляет собой количество фронтальных групп в системе  $b$ . Подставляя приведенные выше значения временного разрешения и оперативности поступления ГМИ-КА в (8), получим следующий критерий пригодности КСГМО по периодичности получаемой информации:

$$\begin{cases} \Delta t_{\text{тр}} \geq 2T_{\Omega}, \text{ для } b = 1 \\ \Delta t_{\text{тр}} \geq 1,5T_{\Omega}, \text{ для } b = 2, \\ \Delta t_{\text{тр}} \geq T_{\Omega}, \text{ для } b = 4 \end{cases} \quad (25)$$

где  $b$  – количество фронтальных групп КА гидрометеорологического назначения.

Общее количество КА гидрометеорологического назначения в орбитальной группировке находится по следующей формуле:

$$N = ab. \quad (26)$$

Таким образом, для моделирования орбитальной группировки КА гидрометеорологического назначения глобального периодического обзора Земли и нахождения ее баллистической структуры, состоящей из  $T_\Omega$ ,  $a$ ,  $b$  и  $N$ , необходимо воспользоваться соотношениями: (12), (14), (15), (24), (25) и (26).

### МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Проанализируем процесс получения ГМИ-КА. Он начинается с получения данных ДЗЗ с помощью целевой аппаратуры, расположенной на КА гидрометеорологического назначения. Целевая аппаратура измеряет интенсивность излучения системы «подстилающая поверхность – атмосфера»  $I$ , которая зависит от множества гидрометеорологических величин  $M^*$ . В результате измерения получается множество оценок интенсивности излучения, измеренных в  $k$  каналах целевой аппаратуры:

$$\tilde{I} = \{\tilde{i}_1, \tilde{i}_2, \dots, \tilde{i}_k\}. \quad (27)$$

Процесс получения оценки интенсивности в каждом канале целевой аппаратуры можно представить с помощью «модели измерения» [8] как

$$\tilde{i}_k = A_k I(M^*) + \hat{v}, \quad (28)$$

где  $A_k$  – оператор преобразования интенсивности излучения системы «подстилающая поверхность – атмосфера» в интенсивность излучения, измеренную в  $k$ -м канале целевой аппаратуры (функция  $k$ -го канала целевой аппаратуры),  $A_k \in A$ ;

$A$  – множество операторов преобразования,  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ ;

$\hat{v}$  – погрешность измерений.

Полученное множество оценок интенсивности излучения  $\tilde{I}$  является данными ДЗЗ, передаваемыми на Землю, где происходит их тематическая обработка.

Процесс тематической обработки данных ДЗЗ для получения оценки значения гидрометеорологической величины  $m_n^* \in M^{*'}$  аналогичен «модели интерпретации измерительно-вычислительной системы» [8] и может быть представлен в виде

$$F_n \tilde{I}'_n = \tilde{m}_n, \quad (29)$$

где  $F_n$  – оператор преобразования измерений интенсивности излучения в каналах целевой аппаратуры в оценку значения  $n$ -й гидрометеорологической величины ( $n$ -й метод тематической обработки),  $F_n \in F$ ;

$F$  – множество операторов преобразования,  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}$ ;

$\tilde{I}'_n$  – подмножество оценок интенсивности излучения, необходимое для нахождения оценки значения гидрометеорологической величины  $\tilde{m}_n$  с помощью оператора  $F_n$  (входные данные  $n$ -го метода тематической обработки),  $\tilde{I}'_n \subseteq \tilde{I}$ .

Таким образом, для нахождения оценок значений  $M_{\text{тр}}^* \subseteq M^{*'}$  потребуется множество методов тематической обработки  $F_{\text{тр}} \subseteq F$ , с помощью которых находятся эти оценки с требуемыми  $\varepsilon_{\beta_{\text{тр}}}$  и  $\beta_{\varepsilon_{\text{тр}}}$  (3), а также целевая аппаратура, обеспечивающая получение  $\{\tilde{I}'_1, \tilde{I}'_2, \dots, \tilde{I}'_n\} \subseteq \tilde{I}$  (т.е. имеющая  $k$  каналов с множеством функций преобразования  $A_{\text{тр}} \subseteq A$ ).

Следует отметить, что за характеристики точности и достоверности получаемой ГМИ-КА в настоящей работе приняты характеристики используемых методов тематической обработки



данных ДЗЗ (т.е. подразумевается, что целевая аппаратура КА гидрометеорологического назначения предоставляет качественные данные ДЗЗ). Таким образом, точность и достоверность оценивания какой-либо гидрометеорологической величины с помощью метода тематической обработки данных ДЗЗ, по аналогии с (3), должны быть не хуже требуемых:

$$\begin{cases} \varepsilon_{\beta_{\text{тр}}} \geq \varepsilon_{\beta_{\text{МТО}}} \\ \beta_{\varepsilon_{\text{тр}}} \leq \beta_{\varepsilon_{\text{МТО}}} \end{cases} \quad (30)$$

где  $\varepsilon_{\beta_{\text{МТО}}}$  и  $\beta_{\varepsilon_{\text{МТО}}}$  – максимальная вероятная погрешность и доверительная вероятность оценивания какой-либо гидрометеорологической величины с помощью соответствующего метода тематической обработки данных ДЗЗ соответственно.

Репрезентативность, в случае ГМИ-КА, можно интерпретировать как разрешающую способность целевой аппаратуры, с помощью которой производится ДЗЗ, так как значение оцениваемых гидрометеорологических величин вычисляется в каждом элементе разрешения получаемых космических снимков. Таким образом, по аналогии с выражением (4), критерий пригодности КСГМО по репрезентативности получаемой информации может быть сформулирован в следующем виде:

$$r_{\text{тр}} \geq r_{\text{ц}}, \quad (31)$$

где  $r_{\text{ц}}$  – разрешающая способность используемой целевой аппаратуры.

После нахождения  $T_{\Omega}$  на этапе моделирования орбитальной группировки КА гидрометеорологического назначения, с использованием выражений (20), (23) и принимая  $\delta=20^{\circ}$ , получаем выражение для нахождения требуемого угла обзора целевой аппаратуры:

$$\gamma_{\text{тр}} = \sin^{-1} \left( \frac{R_3 \sin 110^{\circ}}{(T_{\Omega} \sqrt{\mu} / 2\pi)^{2/3}} \right). \quad (32)$$

Угол обзора, найденный с помощью выражения (32), обеспечит необходимую ширину полосы обзора КА гидрометеорологического назначения и, как следствие, требуемую периодичность ГМИ-КА. Значит, критерий пригодности КСГМО по периодичности получаемой информации (25) необходимо дополнить критерием пригодности целевой аппаратуры по углу обзора следующего вида:

$$\gamma_{\text{тр}} \leq \gamma. \quad (33)$$

Таким образом, показатель пригодности целевой аппаратуры КА гидрометеорологического назначения будет иметь вид

$$\{A, r_{\text{ц}}, \gamma\}, \quad (34)$$

а критерий ее пригодности –

$$\begin{cases} (A_{\text{тр}} \subseteq A) \cong U \\ r_{\text{тр}} \geq r_{\text{ц}} \\ \gamma_{\text{тр}} \leq \gamma \end{cases} \quad (35)$$

## МОДЕЛЬ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Обобщив приведенные выше рассуждения, можно получить модель КСГМО, схематично представленную на рис. 3.

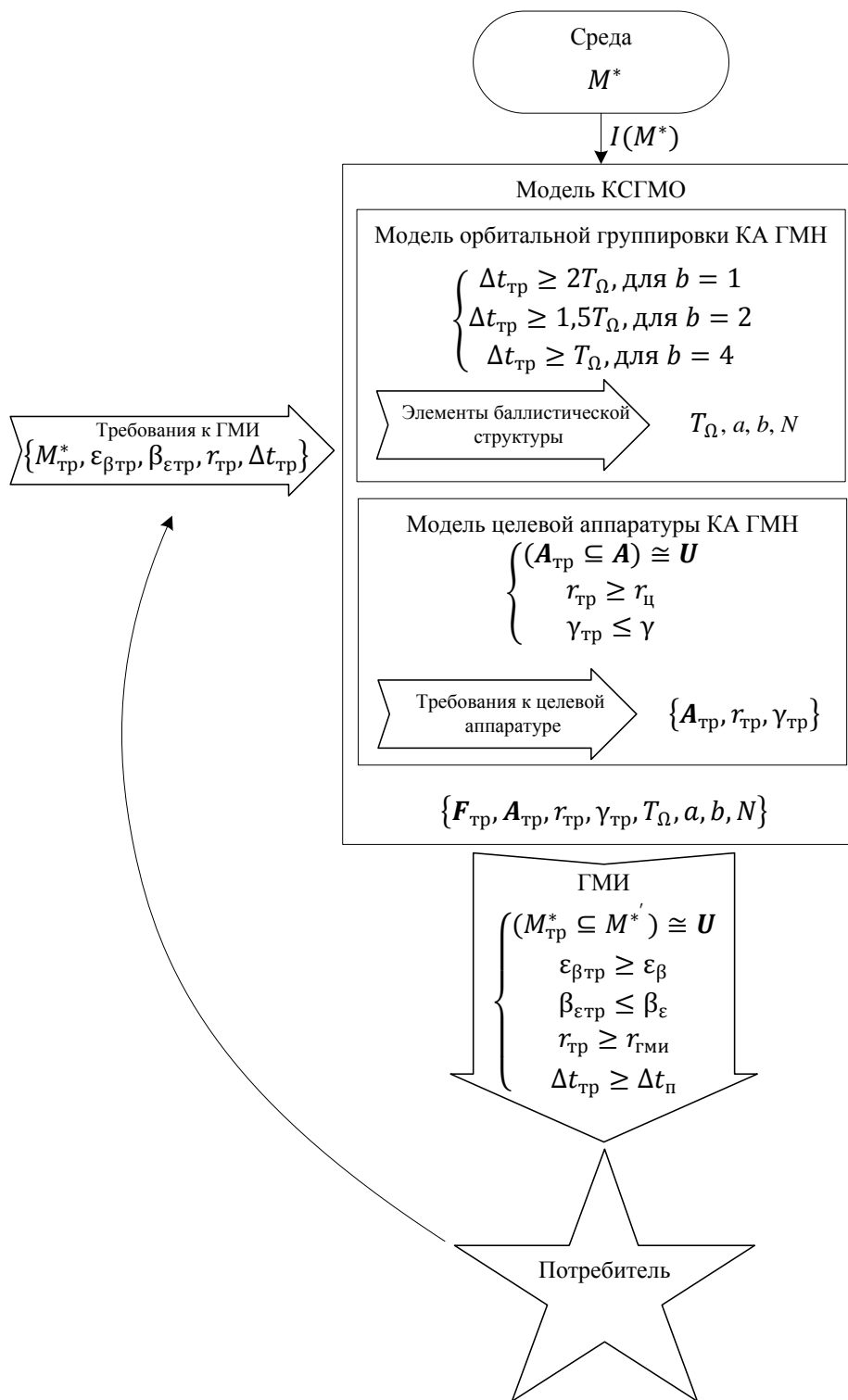


Рис. 3. Схема модели космической системы гидрометеорологического обеспечения

Разработанная модель позволяет от требований к ГМИ-КА, предъявляемых потребителем и представляющих собой множество  $\{M^*_{\text{тр}}, \varepsilon_{\beta\text{тр}}, \beta_{\varepsilon\text{тр}}, r_{\text{тр}}, \Delta t_{\text{тр}}\}$ , перейти к требованиям к элементам КСГМО, представляющих собой множество  $\{F_{\text{тр}}, A_{\text{тр}}, r_{\text{тр}}, \gamma_{\text{тр}}, T_{\Omega}, a, b, N\}$ . Элементы этого множества являются исходными данными для проектирования орбитальной группировки КА гидрометеорологического назначения и их целевой аппаратуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование представленной модели позволяет подойти к обоснованию требований к КСГМО с позиции улучшения качества получаемой ГМИ-КА, а следовательно, и с позиции повышения эффективности функционирования проектируемой системы.

Предложенную модель можно использовать при решении ряда задач, связанных с проектированием системы получения космической ГМИ. К таким задачам можно, в частности, отнести:

- определение необходимого количества КА гидрометеорологического назначения (с известными межвитковым расстоянием, шириной полосы обзора КА, периодом обращения КА вокруг Земли) и возможных вариантов баллистической структуры системы этих КА;
- нахождение различных вариантов баллистической структуры системы проектируемых КА гидрометеорологического назначения (и количества КА в ней) с различными межвитковым расстоянием, шириной полосы обзора КА и периодом обращения КА вокруг Земли;
- определение характеристик элементов системы получения космической ГМИ, изменение которых приведет к повышению (понижению) эффективности функционирования системы.

### Список используемых источников

1. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» №1: справочные материалы / под ред. Л.А. Макриденко, С.Н. Волкова, Ю.В. Трифонова, А.В. Горбунова. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – 143 с.
2. Проект создания казахстанской космической системы научного назначения / М.М. Молдабеков, А.С. Инчин, Ю.Р. Шпади, А.Ю. Лобзин // Вестник ФГУП НПО имени С.А. Лавочкина. – 2010. – №2. – С. 11–16.
3. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. – М.: МО СССР, 1989. – Ч.1: Методология, методы, модели. – 660 с.
4. Статистические методы обработки результатов наблюдений: учебник / Р.М. Юсупов, Г.Б. Петухов, В.Н. Сидоров, В.И. Городецкий, В.М. Марков. – М.: МО СССР, 1984. – 563 с.
5. Баллистическое проектирование систем космических аппаратов: учебное пособие / С.А. Власов, А.В. Кульвиц, И.Ю. Кубасов, Д.А. Мосин. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 86 с.
6. Беляков А.И. Графоаналитический метод исследования движения космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1973. – 148 с.
7. Новая высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система «Арктика-М» / В.В. Хартов, М.Б. Мартынов, В.Е. Бабышкин, И.В. Москатиньев, А.С. Митькин // Вестник ФГУП НПО имени С.А. Лавочкина. – 2014. – №3(24). – С. 104–108.
8. Пытьев Ю.П. Измерительно-вычислительный преобразователь как средство измерения // Автоматика и телемеханика. – 2010. – №2. – С. 141–158.

И.Н. Григорашев,

*кандидат техн. наук, старший научный сотрудник*

НИЦ ФГБУ «ЦНИИ Войск ВКО Минобороны России», г. Королев;

К.В. Кисленко

НИЦ ФГБУ «ЦНИИ Войск ВКО Минобороны России», г. Королев

## ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОРБИТ ТАНДЕМНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье анализируются результаты исследования орбит относительного движения космических объектов. Рассматривается методический подход, обеспечивающий генерацию различных типов и определение параметров орбит устойчивого относительного движения КА, основанный на использовании теории малых возмущений параметров орбитального КА на околокруговых орбитах. Приведены примеры орбит относительного движения космических объектов, проведен анализ их устойчивости.

Ключевые слова: проектирование орбит, космический объект, относительное движение.

В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы баллистического обеспечения – так называемого тандемного движения космических объектов [1–5]. Под тандемным движением в настоящей статье понимается устойчивое относительное движение пары космических объектов на ограниченном расстоянии друг от друга. Рост интереса к тандемному движению КА отражается как в отечественной, так и зарубежной космонавтике, в частности, при решении таких актуальных задач, как стереосъемка, инспекция КА, противоспутниковая борьба.

При проектировании орбит тандемного движения наиболее содержательным выглядит представление начальных условий относительного движения в орбитальной системе координат (ОСК), связанной с одним из космических объектов, который будем называть базовым. При этом каждая из составляющих таких начальных условий связана с характером относительного движения, что позволяет целенаправленно подходить к созданию методики проектирования орбиты.

В случае орбит, близких к круговым, и при небольших значениях составляющих начальных условий относительного движения уравнения относительного движения могут быть линеаризованы. Решение этих уравнений, приведенное в цилиндрической системе координат в [6], преобразовано к прямоугольным координатам:  $\tau, b, n, V_\tau, V_b, V_n$  в ОСК.

Рассматриваемый методический подход к проектированию орбит тандемного движения состоит в задании начальных возмущений орбиты базового КА  $\Delta\tau, \Delta b, \Delta n, \Delta V_\tau, \Delta V_b, \Delta V_n$  как параметров относительного движения. Следует отметить, что составляющие  $\Delta n$  и  $\Delta V_\tau$  вызывают вековые изменения параметров относительного движения, что не приемлемо с точки зрения устойчивости относительного движения. Изменения остальных членов носят периодический характер с периодом, кратным периоду орбиты базового КА. Комбинация допустимых членов выражения –  $\Delta\tau, \Delta b, \Delta V_b, \Delta V_n$  – определяет множество устойчивых орбит относительного движения.

В соответствии с процедурой морфологического анализа выделены все возможные варианты формирования орбиты тандемного движения, в которых используются указанные выше параметры. В настоящей статье, в качестве примеров, приведены результаты расчетов для двух вариантов: с возмущением только по  $\tau$  (вариант 1) и с возмущением по  $\tau$  и  $b$  (вариант 2). В качестве опорной орбиты взята околокруговая орбита с высотой 300 км.

**Вариант 1.** Координаты движения второго КА относительно базового определяются как

$$\tau = \Delta\tau(2\cos\varphi - 1), \quad b = 0, \quad n = \Delta\tau\sin\varphi.$$

Экстремальные значения относительного расстояния, достигаемые на витке,

$$d_{\max} = 3\Delta\tau; \quad d_{\min} = \sqrt{\frac{2}{3}}\Delta\tau.$$

Отсюда следует, что при проектировании орбиты относительного движения выбором значения  $\Delta\tau$  можно задать только одно из экстремальных значений относительного расстояния. Второе значение определяется через отношение

$$\frac{d_{\max}}{d_{\min}} = \frac{9}{\sqrt{6}} \approx 3,674.$$

На рис. 1,а показана траектория рассматриваемого относительного движения для базового КА. Здесь представлены две траектории (с  $\Delta\tau = 6$  км и  $\Delta\tau = -6$  км), рассчитанные с помощью численной модели движения в центральном гравитационном поле. На рис. 1,б демонстрируется изменение относительного расстояния  $d$  в течение витка полета базового КА. Характер изменения  $d$  для обоих вариантов одинаков, отличаясь только знаком координаты  $\tau$ .

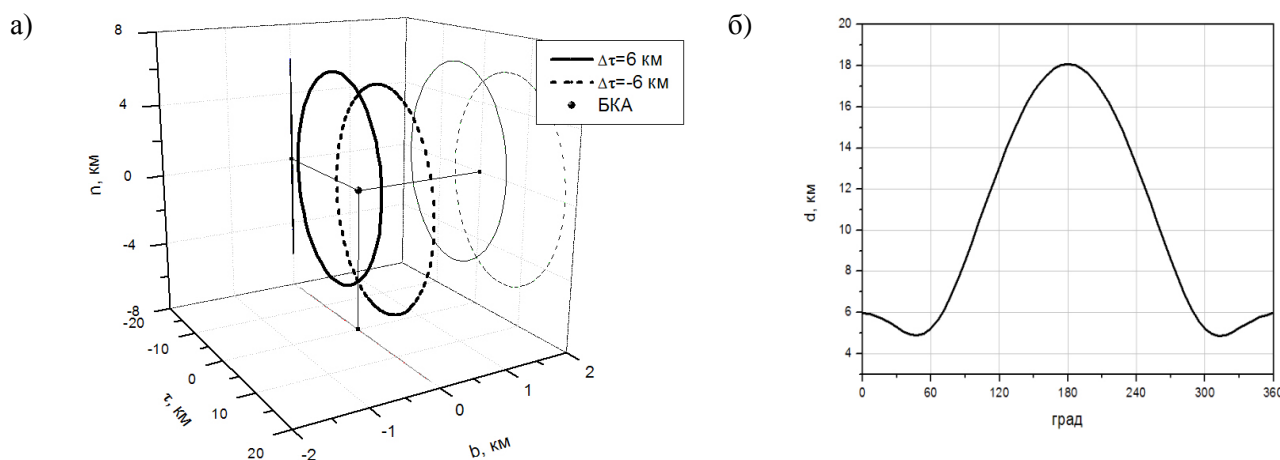


Рис. 1. Характеристики тандемного движения космических объектов: а – траектория относительного движения; б – изменение относительного расстояния на витке

Из рисунка видно, что численные расчеты подтверждают полученные выше аналитические зависимости для величин  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  и их отношения. Относительное движение происходит в плоскости орбиты базового КА, который находится внутри этой траектории.

Побочным влиянием возмущения  $\Delta\tau$  является небольшое изменение периода обращения, что приводит к дрейфу траектории относительного движения по оси  $0\tau$ . На рис. 2 показана эволюция траектории относительного движения на интервале 256 витков.

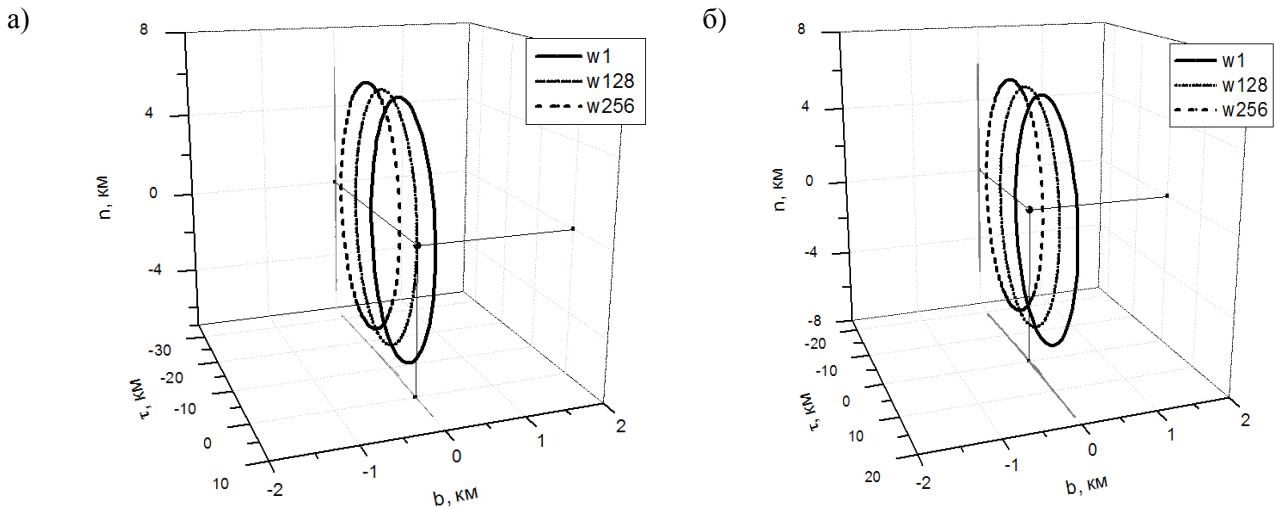


Рис. 2. Эволюция траектории:

*a* – траектория при  $\Delta\tau = 6$  км; *б* – траектория при  $\Delta\tau = -6$  км

На рис. 2  $w_1$ ,  $w_{128}$  и  $w_{256}$  обозначают траектории на 1-м, 128-м и 256-м витке соответственно.

Влияние нецентральности поля приводит к дрейфу траектории относительного движения в отрицательном направлении по оси  $0\tau$ . На рис. 3 показано изменение экстремальных значений относительного расстояния  $d_{\min}$  и  $d_{\max}$  на интервале 256 витков для рассматриваемых условий полета. Изменение знака начального смещения  $\Delta\tau$  приводит к незначительному (на три витка) смещению точки достижения нулевого значения  $d_{\min}$ , без изменения общего характера эволюции. Из данных, приведенных на рис. 3,а, видно, что в целом имеет место существенное возрастание дальности с прохождением через нулевое значение. При этом изменение дальности определяется вековым возрастанием координаты  $\tau$  и носит линейный характер. Начальное отклонение по трансверсальной скорости  $\Delta V_\tau$  также приводит к вековому уходу координаты  $\tau$ . Поэтому за счет введения в начальные условия движения второго КА компенсирующей поправки  $\delta V_\tau$  удастся получить стабильную орбиту относительного движения. На рис. 3,б представлены параметры откорректированного относительного движения на интервале 960 витков в гравитационном поле Земли, учитывающем гармоники  $4 \times 4$ .

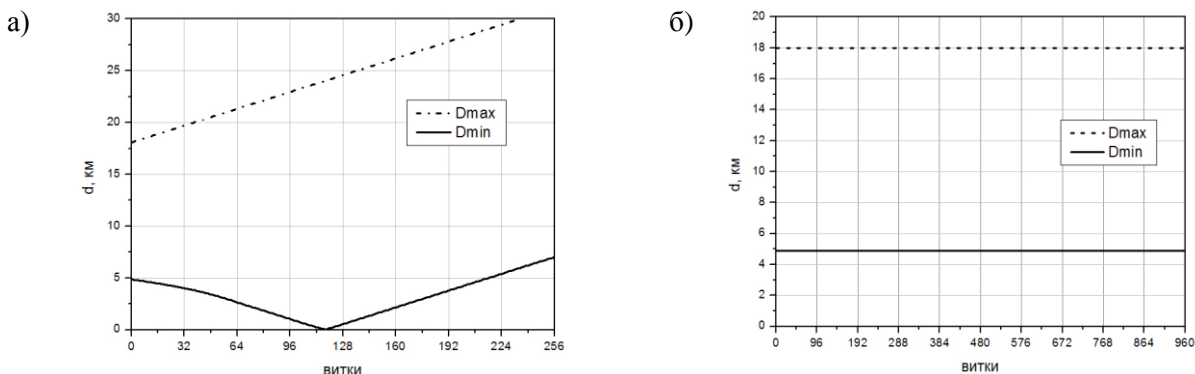


Рис. 3. Изменение дальности при относительном движении:

*a* – дрейф дальности при  $\Delta\tau = 6$  км; *б* – дальность при коррекции дрейфа, км

Учет гармоник более высокого порядка практически не меняет картину. Для рассматриваемых условий полета (средняя высота  $H = 300$  км,  $\Delta\tau = 6$  км) значение  $\delta V_r$  равно  $-0,00312$  м/с. Эта величина зависит от высоты орбиты и величины возмущения  $\Delta\tau$  и может быть найдена численным интегрированием дифференциальных уравнений движения в принятом гравитационном поле. При этом на некотором интервале витков (в примере – 128 витков) решается однопараметрическая краевая задача, в которой граничным условием может приниматься одно из расчетных значений  $d_{\min}$  или  $d_{\max}$ , а искомым параметром является величина компенсирующего импульса  $\delta V_r$ .

**Вариант 2.** Координаты движения второго КА относительно базового определяются как

$$\tau = \Delta\tau(2\cos\varphi - 1), \quad b = \Delta b\cos\varphi, \quad n = \Delta\tau\sin\varphi.$$

Экстремальные значения относительного расстояния, достигаемые на витке,

$$d_{\max} = \sqrt{9\Delta\tau^2 + \Delta b^2}; \quad d_{\min} = \Delta\tau \sqrt{2\left(1 - 2\frac{\Delta\tau^2}{3\Delta\tau^2 + \Delta b^2}\right)}.$$

Последние выражения могут использоваться для проектирования орбиты относительного движения с требуемыми размерами. Если для орбиты представляет интерес размах изменения дальности между КА на витке, можно использовать зависимость

$$\frac{d_{\max}}{d_{\min}} = \sqrt{\frac{9\Delta\tau^2 + \Delta b^2}{2\Delta\tau^2\left(1 - 2\frac{\Delta\tau^2}{3\Delta\tau^2 + \Delta b^2}\right)}}.$$

На рис. 4,а показана траектория рассматриваемого относительного движения для базового КА. Здесь представлены две траектории (с  $\Delta\tau = 6$  км,  $\Delta b = 6$  км и  $\Delta\tau = -6$  км,  $\Delta b = -6$  км), рассчитанные с помощью численной модели движения в центральном гравитационном поле. Видно, что орбита относительного движения развернута относительно плоскости орбиты базового КА и находится на некотором расстоянии от нее. На рис. 4,б демонстрируется изменение относительного расстояния  $d$  в течение витка полета базового КА. Характер изменения  $d$  для обоих вариантов одинаков, отличаясь только знаком координаты  $\tau$ .

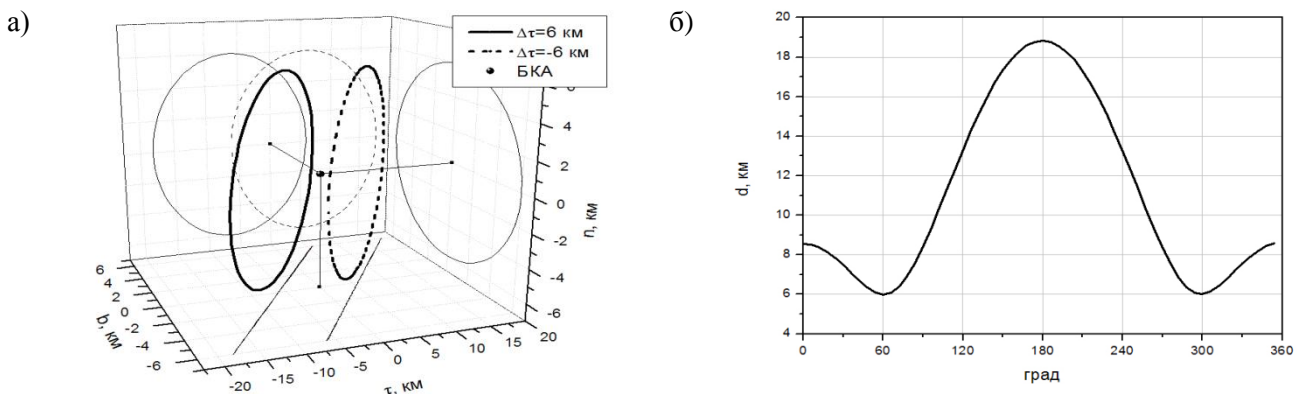


Рис. 4. Характеристики тандемного движения космических объектов:

а – траектория относительного движения; б – изменение относительного расстояния на витке

Из приведенных рисунков видно, что численные расчеты подтверждают полученные выше аналитические зависимости для величин  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  и их отношения.

Траектории относительного движения перпендикулярны плоскости местного горизонта, но развернуты относительно плоскости орбиты базового КА, который находится вне этой траектории.

Побочным влиянием возмущения  $\Delta\tau$  является небольшое изменение периода обращения, что приводит к дрейфу траектории относительного движения по оси  $O\tau$ , показанному на рис. 5,а и б.

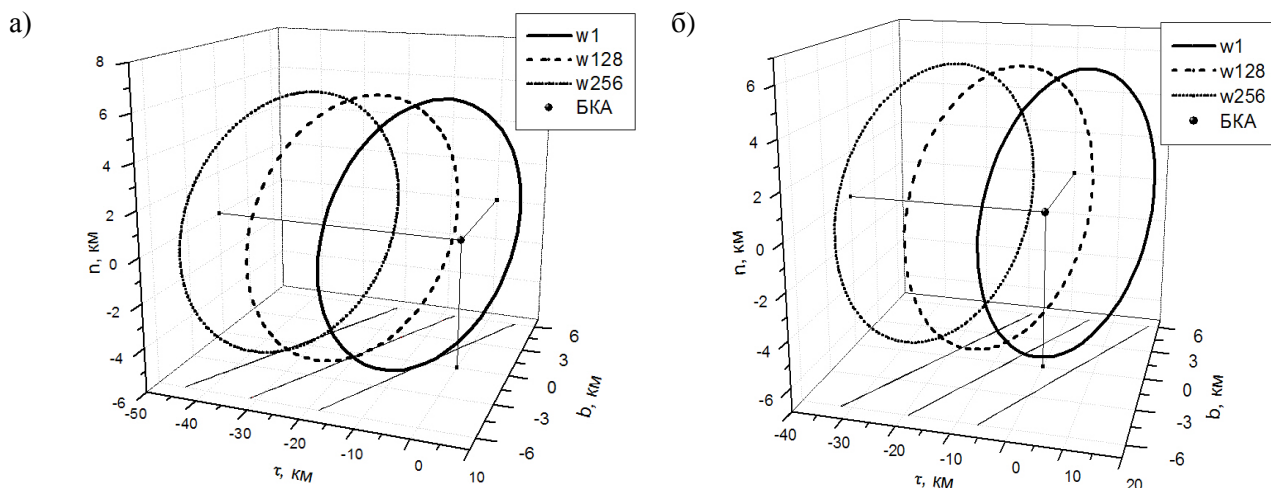


Рис. 5. Эволюция траектории:

а – траектория при  $\Delta\tau = 6$  км; б – траектория при  $\Delta\tau = -6$  км

Имеет место существенный дрейф орбиты относительного движения в отрицательном направлении по оси  $O\tau$ . При этом форма и размеры этой орбиты сохраняются, возрастает дальность между КА. Введение компенсирующей поправки по трансверсальной скорости позволяет ликвидировать этот дрейф, обеспечивая стабильное положение орбиты относительного движения на интервале 960 витков и более. Для рассматриваемых условий полета ( $H = 300$  км,  $\Delta\tau = \Delta b = 6$  км) компенсирующая поправка составила  $\delta V_\tau = -0,0063$  м/с. При изменении высоты орбиты базового КА и параметров  $\Delta\tau$  и  $\Delta b$  значение поправки  $\delta V_\tau$  должно быть рассчитано заново.

Положение орбиты относительного движения характеризуется углом разворота ее относительно плоскости орбиты базового КА

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\Delta b}{2\Delta\tau}\right)$$

и расстоянием между базовым КА и плоскостью орбиты относительного движения

$$p = b \sin(\alpha).$$

Таким образом, предложенный подход позволяет исследовать орбиты тандемного движения и создает методическую основу для проектирования орбит с требуемыми параметрами относительного движения.

### Список используемых источников

1. Лобанов А.Г., Семункина В.И. К вопросу о баллистическом построении при проведении интерферометрической съемки // Космонавтика и ракетостроение. – 2012. – №5. – С.11–12.



2. *Агапов В.А.* Два новых спутника для NRO // *Новости космонавтики.* – 2002. – №5. – С.11–12.
3. *Кучейко А.В.* USA-160: ситуация проясняется // *Новости космонавтики.* – 2002. – №8. – С.44–47.
4. *Овчинников М.Ю., Ткачев С.С.* Влияние слабых возмущений на относительное движение двух спутников // *Препринты ИПМ имени М.В. Келдыша.* – 2005. – №69. – 24 с.
5. Формирование структуры баллистически связанной группы космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / *Н.Ф. Аверкиев, С.А. Власов, Т.А. Житников, А.В. Кульвиц* // *Научные технологии в космических исследованиях Земли.* – 2016. – Т.8, №4. – С.11–16.
6. *Эльясберг П.Е.* Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. – М.: Наука, 1965.

Е.В. Кириллюк  
 МГТУ имени Н.Э. Баумана;  
 В.В. Корянов  
*кандидат техн. наук, доцент*  
 МГТУ имени Н.Э. Баумана;  
 М.Н. Степанов  
*кандидат техн. наук, доцент*  
 4 ЦНИИ Минобороны РФ, МГТУ имени Н.Э. Баумана

## МИНИМИЗИРУЮЩИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С НИЗКОЙ КРУГОВОЙ ОРБИТЫ НА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

В работе рассматривается методика численного решения на основе принципа максимума задачи построения оптимальных многовитковых траекторий перелета космического аппарата с реактивным двигателем большой ограниченной тяги между низкой круговой орбитой и некомпланарной ей целевой высокоэнергетической в центральном гравитационном поле Земли. Проанализированы результаты численного решения для задач перехода на орбиту геостационарного спутника Земли и высокоэллиптическую орбиту, близкую по характеристикам к орбите типа «Молния», для трех различных по энергетическим характеристикам разгонных блоков.

Ключевые слова: оптимальное управление, межорбитальный перелет, выведение, геостационарная орбита, высокоэллиптическая орбита, принцип максимума.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время задача улучшения, с точки зрения выводимой массы полезной нагрузки, схемы выведения КА на орбиты с высокой энергетикой и различными геометрическими характеристиками является актуальной. Под высокоэнергетическими орбитами в данной работе подразумеваются геостационарная орбита (ГСО) спутника Земли, высокоэллиптические орбиты (ВЭО) различных типов (например, 12-часовые – орбиты типа «Молния» и 24-часовые), а также орбиты типа ГЛОНАСС. Формирование подобных орбит требует больших затрат топлива используемого разгонного блока (РБ).

В данной работе задача оптимизации траектории выведения решается на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина. Минимизируемый функционал – расход массы  $m$ :

$$I_m = m(t_0) - m(T) \rightarrow \inf, \quad (1)$$

где  $t_0$  – начальный момент времени;

$T$  – конечный момент времени.

В упрощенной импульсной постановке, допускающей, что тяга, развиваемая двигательной установкой (ДУ), может быть бесконечно большой, функционал (1) заменяется суммарной характеристической скоростью  $\Delta V_\Sigma$ , потребной для осуществления перелета. Однако в случае постановки задачи с использованием РБ с большой ограниченной тягой минимум функционала (1) достигается не на одной экстремали как при импульсной постановке задачи, а на последовательности  $\{y_s, U_s\}$ ,  $s = 1, 2, \dots$  пар  $y(t)$  (фазовая вектор-функция) и  $U(t)$  (управляющая вектор-функция) при  $S \rightarrow \infty$ . Такая последовательность, как известно, называется

минимизирующей [1, 2]. Решить задачу о минимуме функционала (1) – значит найти конструкцию такой последовательности и метод расчета ее членов.

Для перелетов между компланарными круговыми орбитами минимизирующая последовательность стремится к «циклическому скользящему режиму», представляющему собой бесконечную последовательность переходных квазиэллиптических орбит (циклов) с включениями ограниченной тяги на малое время в окрестностях перицентров и (или) апоцентров этих орбит [2]. Поскольку тяга ограничена, а времена ее включения малы – число витков вокруг Земли и число активных участков, а следовательно, и время перелета будут сколько угодно велики. В работе приводится попытка распространить данное утверждение на переходы между некомпланарными орбитами и проанализировать поведение подобных последовательностей для двух случаев: когда целевая орбита является круговой и когда целевая орбита является эллиптической. В качестве примера подобных орбит рассматриваются ГСО и ВЭО, близкая по характеристикам к орбите типа «Молния».

Практический интерес представляют задачи на минимум функционала (1) при ограниченном времени

$$T - t_0 \leq t^*, \quad (2)$$

где  $t^*$  – параметр, определяющий допустимую продолжительность перелета.

Обратим внимание, что ограничение (2) эквивалентно ограничениям на угловую дальность перелета или число витков вокруг Земли, или число активных участков. Одним из способов учета условия (2) является использование вместо (1) функционала [4]

$$I_{tm} = K_t(T - t_0) + K_m(m(t_0) - m(T)), \quad K_t \geq 0, \quad K_m \geq 0, \quad K_t + K_m \neq 0, \quad (3)$$

представляющего собой регулируемый посредством числовых коэффициентов  $K_t$ ,  $K_m$ ,  $[K_t] = c^{-1}$ ,  $[K_m] = 1$  компромисс между затратами на выведение времени и массы и при  $K = K_m / K_t \rightarrow \infty$  или  $K^{-1} = K_t / K_m \rightarrow 0$ , стремящийся к функционалу задачи выведения с минимальным расходом массы. Величину  $K$  называют коэффициентом компромисса. Примеры решения оптимальных задач с компромиссным функционалом имеются в работах [3–5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ АНАЛИЗ

Ниже приводятся основные результаты расчетов оптимальных траекторий перелета КА на ГСО и ВЭО с околокруговой орбиты при радиусе  $h \approx 200,0$  км и наклонением  $i_0 = 51,5^\circ$  для трех вариантов массово-энергетических характеристик РБ, приведенных в табл.1, близких соответственно к характеристикам РБ «Бриз», ДМ и КВТК. Параметры рассматриваемой ВЭО будут следующие:  $h_\pi = 1000$  км,  $h_a = 39500$  км,  $i = 63,43^\circ$ ,  $\Omega = 0^\circ$ ,  $\omega_\pi = -90^\circ$ .

Начальная масса орбитального блока (ОБ), в состав которого входят РБ и КА, для задачи выведения на ВЭО принята  $M_0 = 24300$  кг, а для задачи выведения на орбиту, близкую к ГСО, –  $M_0 = 21250$  кг. Коэффициент компромисса в функционале (3) варьировался в диапазоне изменения  $K = K_m$  от  $4,4 \cdot 10^6$  до  $1,0 \cdot 10^7$  при  $K_t = 1$ .

Таблица 1

### Энергетические характеристики ДУ рассматриваемых РБ

N	РБ	$F$ , кгс	$P_{уд}$ , с
1	«Бриз»	2000	325,5
2	ДМ	8000	353,0
3	КВТК	7500	470,0

Графики на рис. 1–6 построены по результатам решения большой серии краевых задач принципа максимума. По оси абсцисс отсчитываются значения аргумента широты  $u(0)$  точек, которые принимаются за начало интегрирования системы дифференциальных уравнений краевой задачи; вдоль оси ординат – значения функции переключения  $\rho(0)$  в момент  $t=0$  и нормированная конечная масса КА  $m(T) = M(T) / M_0$ . На рис. 1–3 представлены результаты для переходов на орбиту, близкую к ГСО, с использованием РБ «Бриз», ДМ и КВТК соответственно, на рис. 4–6 – для переходов на ВЭО с использованием тех же РБ соответственно.

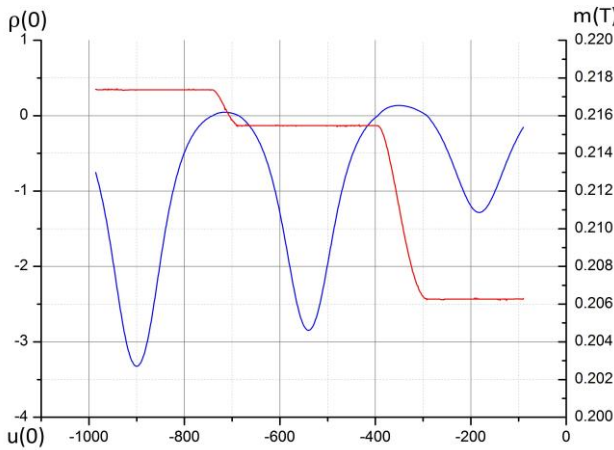


Рис. 1. Результаты расчетов для перехода на ГСО с использованием РБ «Бриз»

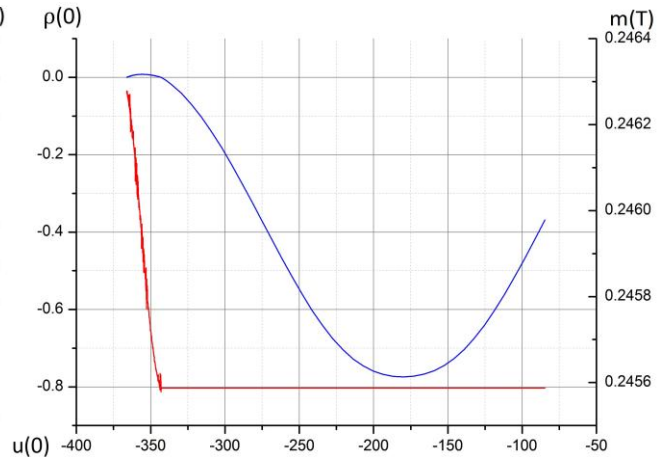


Рис. 2. Результаты расчетов для перехода на ГСО с использованием РБ ДМ

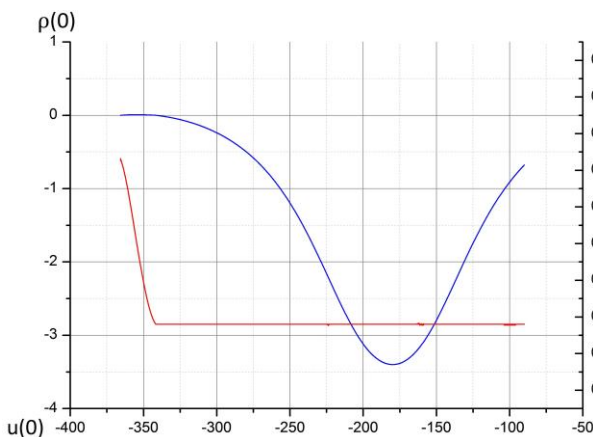


Рис. 3. Результаты расчетов для перехода на ГСО с использованием РБ КВТК

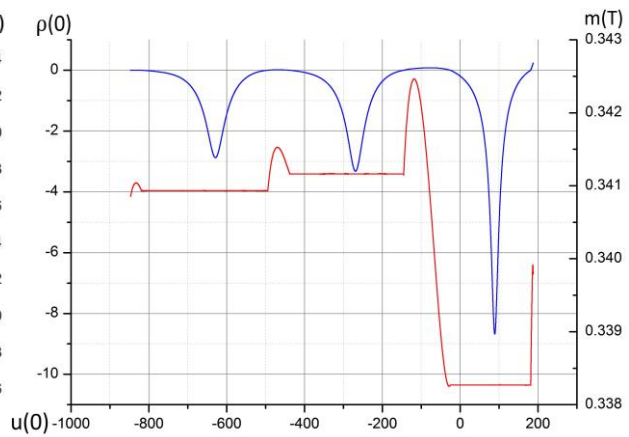


Рис. 4. Результаты расчетов для перехода на ВЭО с использованием РБ «Бриз»

Первыми членами минимизирующих последовательностей для каждого из рассматриваемых случаев являются траектории с двумя активными участками (АУ), которые будем называть базовыми. Траектории с тремя и более АУ теоретически возможно получить, используя решение для траектории с двумя АУ, производя постепенное увеличение значения коэффициента  $K$ . Однако применительно к рассматриваемым в статье задачам на практике такой способ приводит к неустойчивости итерационного процесса решения краевой задачи принципа максимума. Результаты для многовитковых траекторий, представленные в данной работе, были получены с помощью комбинированного численно-аналитического метода постепенного увеличения угловой дальности перелета посредством отшагивания назад при

интегрировании системы дифференциальных уравнений краевой задачи, что приводит к разбиению первого АУ базовой схемы на два, три и более участков.

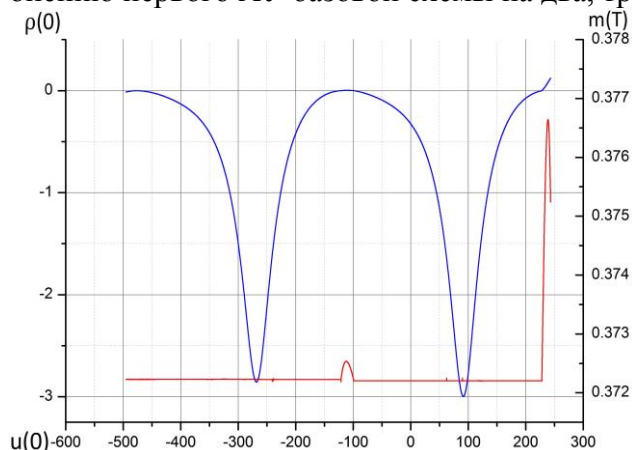


Рис. 5. Результаты расчетов для перехода на ВЭО с использованием РБ ДМ

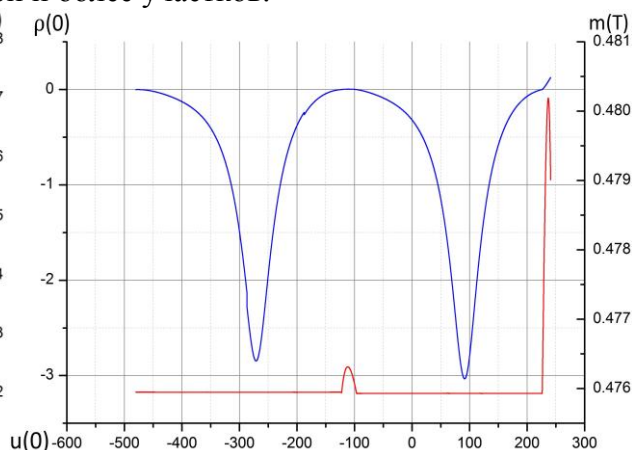


Рис. 6. Результаты расчетов для перехода на ВЭО с использованием РБ КВТК

Из рис.1 следует, что для РБ «Бриз» при переходе на ГСО разбиение первого (периферического) АУ на два соответствует в рассматриваемом примере приращению конечной массы на 4,5%. В аналогичном случае для РБ ДМ (рис.2), приращение конечной массы составляет 0,28%, а для РБ КВТК (рис.3) – 0,26%. Для РБ «Бриз» выигрыш в конечной массе при переходе к траектории с тремя периферическими АУ составляет всего лишь 0,9% (по сравнению с траекторией с двумя периферическими АУ); при добавлении еще одного (четвертого) периферического АУ конечная масса практически не меняется, выигрыш составляет не более 0,02%. Для РБ ДМ и КВТК приращение конечной массы пренебрежимо мало уже при переходе к схеме с тремя периферическими АУ (на рис.2 и 3 не представлены). Таким образом, рассматриваемые примеры свидетельствуют, что минимизирующие последовательности траекторий в случае некомпланарных переходов между круговыми орбитами являются конечными и быстро сходятся к своему предельному значению.

Иная картина наблюдается при переходах с круговой начальной на эллиптическую целевую орбиту. Если в случае перехода на ГСО увеличению угловой дальности перелета соответствовало либо постоянство конечной массы, либо ее прирост (в зависимости от начального значения функции переключения), то в случае перехода на ВЭО наблюдаются также и участки уменьшения конечной массы. То есть одной и той же структуре траектории перелета могут соответствовать различные значения конечной массы, в зависимости от начального значения аргумента широты 1-го включения ДУ РБ.

Для РБ ДМ и КВТК оптимальной структурой траектории перелета является переход с двумя АУ [ $u(0) \approx 230^\circ$  на рис. 5 и 6]. Локальные экстремумы конечной массы, достигаемые при использовании структуры с тремя АУ, при этом они составляют 98,9% и 99,2% от глобальных экстремумов, достигаемых при использовании двух АУ, соответственно. Для РБ «Бриз» оптимальной структурой траектории перелета является переход с тремя АУ [ $u(0) \approx 110^\circ$  на рис. 4]. Локальный экстремум конечной массы, достигаемый при структуре с двумя АУ, на 0,74% меньше глобального экстремума. Локальный экстремум, достигаемый при структуре с четырьмя АУ, – на 0,27% меньше, при структуре с пятью АУ – на 0,43%. Наблюдается убывающая последовательность в зависимости от дальности перелета. Таким образом, в отличие от пространственного перехода с круговой орбиты на круговую, при переходе с круговой на эллиптическую орбиту говорить о минимизирующей последовательности в смысле определения [1, 2] некорректно. Управление, минимизирующее затраты топлива, в данном случае определяется на конечном множестве экстремалей, обусловленных энергетическими характеристиками РБ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные численные результаты показывают, что при перелете с низкой круговой на некомпланарную ей эллиптическую орбиту «циклический скользящий режим» не наблюдается, а глобальный экстремум выводимой массы полезного груза достигается при использовании конкретной структуры траектории выведения и на конечном отрезке времени. Дальнейшее увеличение количества АУ (т.е. времени перелета и его угловой дальности) приводит к уменьшению конечной массы. При увеличении количества АУ образуется последовательность убывающих локальных экстремумов массы, соответствующих каждой рассматриваемой структуре.

Последовательность структур, а значит, и количество АУ являются ограниченными. Количество АУ зависит от энергетических характеристик ДУ РБ: чем больше удельный импульс, тем меньшее количество АУ можно получить при разбиении с использованием описанного алгоритма базовой схемы с двумя включениями. Чем меньше удельный импульс ДУ, тем больше АУ будет содержать структура, доставляющая глобальный экстремум конечной массы. При большем импульсе ДУ, при прочих равных условиях, решение задачи стремится к траектории, получаемой согласно импульсной постановке.

В случае перехода на ГСО, при увеличении количества перицентральных активных участков, имеет место асимптотическое приближение рассматриваемого функционала к своей нижней грани. Однако стоит отметить, что количество активных участков, получаемых с применением принципа максимума, также является в рассматриваемом случае конечным и зависимым от энергетических характеристик ДУ РБ.

### Список используемых источников

1. Кротов В.Ф., Букреев В.З., Гурман В.И. Новые методы вариационного исчисления в динамике полета. – М.: Машиностроение, 1969. – 305 с.
2. Кротов В.Ф., Гурман В.И. Методы и задачи оптимального управления. – М.: Наука, 1973. – 305 с.
3. Григорьев К.Г., Федына А.В. Оптимальное пространственное выведение космического аппарата на геостационарную орбиту с орбиты искусственного спутника Земли // Техническая кибернетика. – 2009. – №4. – С. 77–82.
4. Григорьев К.Г. О маневрах космического аппарата при минимальных затратах массы и ограниченном времени // Космические исследования. – 1994. – Т.32, вып. 2 – С. 77–82.
5. Григорьев К.Г., Заплетина Е.В., Заплетин М.П. Оптимальные пространственные перелеты космического аппарата между поверхностями Луны и орбитой ее искусственного спутника // Космические исследования. – 1993. – Т.31, вып. 5. – С. 77–82.

А.А. Ардашов,  
*кандидат техн. наук, старший научный сотрудник;*  
В.Н. Арсеньев,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
К.Г. Зиновьев  
1-й Государственный испытательный космодром МО РФ

## **ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ОТ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Рассматривается задача согласования точностных характеристик измерительных устройств системы управления летательного аппарата с характеристиками рассеивания ее фазовых координат.

Для ее решения предложено использовать модель, полученную путем линеаризации функции многих переменных на ограниченном множестве точек. Показана ее более высокая точность по сравнению с известными моделями.

Ключевые слова: летательный аппарат, система управления, измерительные устройства, характеристики точности, модель.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В процессе разработки и создания летательных аппаратов (ЛА) достаточно часто возникает задача согласования точностных характеристик (ТХ) измерительных устройств (ИУ) системы управления (СУ) ЛА с характеристиками рассеивания ее фазовых координат в фиксированные моменты времени. Она включает две основные задачи: задачу анализа – определение характеристик точности СУ при заданных точностных характеристиках измерительных устройств и задачу синтеза – определение характеристик измерительных устройств, обеспечивающих удовлетворение предъявляемых к СУ требований по точности. Известно, что случайные погрешности ИУ и отклонения фазовых координат СУ от расчетных значений связаны векторным нелинейным дифференциальным уравнением, описывающим движение СУ [1]. В этом случае рассмотренные выше задачи решаются методом подбора. Целенаправленный поиск решений можно организовать, если использовать более простые модели [2–5]. Однако для обеспечения приемлемой точности параллельно с требованием к простоте модели необходимо обеспечить выполнение еще одного важного требования: получаемые на ее основе оценки характеристик точности СУ должны быть близки к фактическим значениям при изменении характеристик погрешностей ИУ в достаточно широком диапазоне.

Для согласования ТХ ИУ с ТХ СУ часто используется линейная модель, основанная на коэффициентах чувствительности [2]. Она отражает физическую зависимость между отклонениями фазовых координат СУ от расчетных значений и погрешностями ИУ, но не всегда учитывает вероятностный характер связи между ними. В работах [3, 4] предлагается использовать специальным образом построенную статистически линеаризованную модель, а в [5] – модель, полученную также методом статистической линеаризации, но с учетом коэффициентов чувствительности. Недостатком этих моделей является, главным образом, положенный в основу их построения принцип линеаризации векторной функции многих случайных переменных в окрестности одной точки. Представляется, что повышения точности модели можно добиться путем линейной аппроксимации этой функции на некотором ограниченном множестве точек.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Возмущенное движение СУ в общем виде может быть описано векторным нелинейным дифференциальным уравнением [6]

$$\frac{d\hat{\mathbf{X}}}{dt} = \mathbf{F}(\hat{\mathbf{X}}, \mathbf{U}, \hat{\boldsymbol{\lambda}}, t), \quad (1)$$

В формуле (1) используются следующие обозначения: значок « $\hat{\phantom{x}}$ » обозначает, что данная величина является случайной;  $\hat{\boldsymbol{\lambda}} \in R^m$  – вектор случайных погрешностей ИУ СУ, закон распределения которого  $\varphi_{\hat{\boldsymbol{\lambda}}}(\boldsymbol{\lambda})$  полагается известным, причем математическое ожидание этого вектора  $\mathbf{M}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}}} = 0$ , а корреляционная матрица  $\mathbf{K}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}}} = \text{diag} \left\{ D_{\hat{\lambda}_1}, D_{\hat{\lambda}_2}, \dots, D_{\hat{\lambda}_m} \right\}$ , где  $D_{\hat{\lambda}_i}$  – дисперсия  $i$ -й компоненты вектора  $\hat{\boldsymbol{\lambda}}$ , характеризующая погрешность  $i$ -го ИУ,  $i = \overline{1, m}$ ;  $\hat{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{X}_H(t) + \Delta \hat{\mathbf{X}}(t) \in R^n$  – вектор фазовых координат СУ в момент времени  $t$ ;  $\mathbf{X}_H(t)$  – его номинальное значение, полученное при  $\hat{\boldsymbol{\lambda}} = 0$ ;  $\Delta \hat{\mathbf{X}}(t)$  – вектор вариаций фазовых координат СУ относительно их номинальных значений, обусловленный погрешностями ИУ;  $m \geq n$ ;  $\mathbf{U} \in R^q$  – вектор–функция программ управления;  $t \in [t_0, t_K]$  – время функционирования СУ.

Вектор–столбец  $\mathbf{D}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}}} = \left[ D_{\hat{\lambda}_1} \quad D_{\hat{\lambda}_2} \quad \dots \quad D_{\hat{\lambda}_m} \right]^T$  характеризует точность ИУ СУ и в дальнейшем называется вектором точностных характеристик ИУ.

Полагается, что в конечный момент времени  $t_K$  вектор вариаций фазовых координат СУ  $\Delta \hat{\mathbf{X}}(t_K)$  имеет математическое ожидание  $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$  и корреляционную матрицу  $\mathbf{K}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$ . Диагональные элементы  $D_{\Delta \hat{X}_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$  матрицы  $\mathbf{K}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$  характеризуют рассеивание фазовых координат СУ относительно  $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$ . В дальнейшем векторы  $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}$  и  $\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}} = \left[ D_{\Delta \hat{X}_1} \quad D_{\Delta \hat{X}_2} \quad \dots \quad D_{\Delta \hat{X}_n} \right]^T$  называются характеристиками точности функционирования или точностными характеристиками СУ.

Пусть задано некоторое значение  $\mathbf{D}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}_0}}$  вектора  $\mathbf{D}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}}}$  (или значение  $\mathbf{K}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}_0}}$  матрицы  $\mathbf{K}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}}}$ ), характеризующего, как уже было отмечено, точность ИУ СУ. По результатам многократных статистических испытаний модели (1) получены соответствующие оценки  $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}_0}}$  и  $\mathbf{K}_{\Delta \hat{\mathbf{X}_0}}$  ( $\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}_0}}$ ) характеристик точности СУ, а также методом, предложенным в [4], построена линейная модель, связывающая вектор вариаций фазовых координат СУ в фиксированный момент времени  $t_K$  с вектором погрешностей ИУ,

$$\Delta \hat{\mathbf{X}}_M = \mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{X}_0}} + \mathbf{C}_0 \hat{\boldsymbol{\lambda}},$$

где  $(n \times m)$  – матрица коэффициентов  $\mathbf{C}_0$ , обеспечивающая минимум среднего квадрата отклонения вектора  $\Delta \hat{\mathbf{X}}_M$  от вектора  $\Delta \hat{\mathbf{X}}(t_K)$ , при строгом выполнении условия  $\mathbf{K}_{\Delta \hat{\mathbf{X}_0}} = \mathbf{C}_0 \mathbf{K}_{\hat{\boldsymbol{\lambda}_0}} \mathbf{C}_0^T$ .

В работе [4] показано, что при таком выборе матрицы  $\mathbf{C}_0$  имеет место равенство



$$\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_0} = \mathbf{A}_0 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}, \quad (2)$$

в котором элементы матрицы  $\mathbf{A}_0$  равны квадратам соответствующих элементов матрицы  $\mathbf{C}_0$ .

Рассматриваются новые значения  $\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} = \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} - \Delta \mathbf{D}_1$  и  $\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} = \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} + \Delta \mathbf{D}_2$  вектора характеристик точности измерительных устройств  $\mathbf{D}_{\hat{\lambda}}$ . Элементы векторов приращений  $\Delta \mathbf{D}_1$  и  $\Delta \mathbf{D}_2$  являются положительными и меньше соответствующих элементов вектора  $\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}$ . По этим данным на основе модели (1) получены соответствующие значения  $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_1}$ ,  $\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_1}$  и  $\mathbf{M}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_2}$ ,  $\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_2}$  характеристик точности СУ в момент времени  $t_K$ .

Необходимо найти  $(n \times m)$  – матрицу  $\mathbf{A}_D$ , удовлетворяющую одновременно уравнениям:

$$\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_0} = \mathbf{A}_D \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}; \quad (3)$$

$$\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_2} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_1} = \mathbf{A}_D \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right). \quad (4)$$

Поскольку в общем случае может существовать множество решений системы уравнений (3), (4), то представляется логичным выбрать из этого множества такую матрицу, которая наиболее близка к матрице  $\mathbf{A}_0$ , обеспечивающей выполнение условия (2).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТРИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ

В качестве меры близости неизвестной матрицы  $\mathbf{A}_D$  к  $\mathbf{A}_0$  рассматривается функционал

$$J = tr \left\{ (\mathbf{A}_D - \mathbf{A}_0)^T (\mathbf{A}_D - \mathbf{A}_0) \right\}, \quad (5)$$

где  $tr \{ \cdot \}$  – функция следа матрицы.

Тогда задача сводится к поиску матрицы  $\mathbf{A}_D$ , обеспечивающей минимум функционала (5) при условиях (3), (4).

Для ее решения используется метод неопределенных множителей Лагранжа [7], в соответствии с которым составляется функция

$$L = tr \left\{ (\mathbf{A}_D - \mathbf{A}_0)^T (\mathbf{A}_D - \mathbf{A}_0) \right\} + 2\boldsymbol{\mu}_1^T \left[ \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_2} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_1} - \mathbf{A}_D \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right) \right] + 2\boldsymbol{\mu}_2^T \left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_0} - \mathbf{A}_D \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \right),$$

где  $\boldsymbol{\mu}_1$  и  $\boldsymbol{\mu}_2$  –  $(n \times 1)$ -векторы неопределенных множителей.

Необходимые условия минимума  $L$  по матрице  $\mathbf{A}_D$  и векторам  $\boldsymbol{\mu}_1$  и  $\boldsymbol{\mu}_2$  имеют вид:

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{A}_D} = 2\mathbf{A}_D - 2\mathbf{A}_0 - 2\boldsymbol{\mu}_1 \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)^T - 2\boldsymbol{\mu}_2 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T = 0;$$

$$\frac{\partial L}{\partial \boldsymbol{\mu}_1} = 2 \left[ \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_2} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_1} - \mathbf{A}_D \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right) \right] = 0;$$

$$\frac{\partial L}{\partial \boldsymbol{\mu}_2} = 2 \left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{x}}_0} - \mathbf{A}_D \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \right) = 0.$$

Подстановка матрицы

$$\mathbf{A}_D = \mathbf{A}_0 + \boldsymbol{\mu}_1 \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)^T + \boldsymbol{\mu}_2 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T, \quad (6)$$

полученной из первого уравнения, во второе и третье дает систему уравнений относительно векторов  $\boldsymbol{\mu}_1$  и  $\boldsymbol{\mu}_2$

$$\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} - \mathbf{A}_0 \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right) - \mu_1 \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)^T \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right) - \mu_2 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right) = 0; \quad (7)$$

$$\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_0} - \mathbf{A}_0 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} - \mu_1 \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)^T \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} - \mu_2 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} = 0. \quad (8)$$

Решение системы уравнений (7), (8) имеет вид

$$\mu_1 = \frac{\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} - \mathbf{A}_0 \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right) - \frac{1}{\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}} \left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_0} - \mathbf{A}_0 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \right) \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)}{\left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)^T \left( \mathbf{I} - \frac{1}{\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}} \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T \right) \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)}; \quad (9)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}^T \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0}} \left[ \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_0} - \mathbf{A}_0 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} - \mu_1 \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} \right)^T \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \right]. \quad (10)$$

где  $\mathbf{I}$  – единичная ( $m \times m$ )-матрица.

Таким образом матрица коэффициентов  $\mathbf{A}_D$  определена.

Линейная модель для решения прямой задачи – определения характеристик точности СУ при изменении точностных характеристиках ИС и обратной задачи – определения характеристик ИС, при которых удовлетворяются требования, предъявляемые к СУ по точности, представляется следующим образом:

$$\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_M} = \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_0} + \mathbf{A}_D \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \right). \quad (11)$$

Адекватность данной модели проверяется путем сравнения оценок ТХ СУ, полученных на основе моделей (1) и (11) при одних и тех же значениях ТХ ИУ. С этой целью может использоваться показатель

$$\delta_D = \frac{\sqrt{\left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_M} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}} \right)^T \left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_M} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}} \right)}}{\sqrt{\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}^T \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}}}} 100\%.$$

Для проверки адекватности модели (6) также представляют интерес частные показатели:

$$\delta_{D1} = \frac{\sqrt{\left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_{M1}} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} \right)^T \left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_{M1}} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1} \right)}}{\sqrt{\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1}^T \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_1}}} 100\% \quad \text{и} \quad \delta_{D2} = \frac{\sqrt{\left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_{M2}} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2} \right)^T \left( \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_{M2}} - \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2} \right)}}{\sqrt{\mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2}^T \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_2}}} 100\%,$$

$$\text{где } \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_{M1}} = \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_0} + \mathbf{A}_D \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \right); \quad \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_{M2}} = \mathbf{D}_{\Delta \hat{\mathbf{X}}_0} + \mathbf{A}_D \left( \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} \right).$$

## ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ

Рассматривается свободное движение системы угловой стабилизации (СУС) летательного аппарата в одной плоскости. Решение линеаризованного дифференциального уравнения, описывающего угловое движение по углу рыскания  $\Psi(t)$ , имеет вид [4]

$$\hat{\Psi}(t) = \left( -2 + \hat{\lambda}_3 \right) e^{-1 + \hat{\lambda}_1 t} \sin \left[ \left( 0.5 + \hat{\lambda}_2 \right) t - 0.2 \right], \quad (12)$$

где  $\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{\lambda}_3$  - случайные величины, характеризующие погрешности измерительных устройств, причем  $\hat{\lambda}_1$  и  $\hat{\lambda}_2$  распределены равномерно на интервалах  $[-0.5, 0.5]$  и  $[-0.25, 0.25]$  соответственно, а  $\hat{\lambda}_3$  - по нормальному закону  $N(0, 0.09)$ ;  $t$  - время.

Вектор, соответствующий этим данным и характеризующий точность ИУ,  $\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0} = [0.0833 \ 0.0208 \ 0.0900]^T$ . Методом 10000-кратных статистических испытаний модели

(12) для момента времени  $t = 10$  с получена оценка дисперсии отклонения  $\Delta \hat{\Psi} = \hat{\Psi} - \Psi|_{\lambda_i=0}$ :

$D_{\Delta \hat{X}_0} = D_{\Delta \hat{\Psi}_0} = 3.73 \cdot 10^{-6}$ . Также методом статистических испытаний для двух значений

$\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_1} = [0.0789 \ 0.0201 \ 0.0761]^T$  и  $\mathbf{D}_{\hat{\lambda}_2} = [0.0917 \ 0.0244 \ 0.1027]^T$  вектора характеристик точности измерительных устройств  $\mathbf{D}_{\hat{\lambda}}$  получены оценки характеристик точности СУС:

$D_{\Delta \hat{X}_1} = D_{\Delta \hat{\Psi}_1} = 3.88 \cdot 10^{-6}$  и  $D_{\Delta \hat{X}_2} = D_{\Delta \hat{\Psi}_2} = 3.70 \cdot 10^{-6}$ . Построены линейные статистические модели методом, предложенным в [4],  $D_{\Delta \hat{X}_M} = \mathbf{A}_0 \mathbf{D}_{\hat{\lambda}}$  и предлагаемым методом

$D_{\Delta \hat{X}_M} = D_{\Delta \hat{X}_0} + \mathbf{A}_D (\mathbf{D}_{\hat{\lambda}} - \mathbf{D}_{\hat{\lambda}_0})$ . Соответствующие матрицы коэффициентов (в данной задаче это векторы-строки) имеют вид  $\mathbf{A}_0 = 10^{-4} \cdot [0.41 \ 0.13 \ 0.01]$  и  $\mathbf{A}_D = 10^{-4} \cdot [0.49 \ 0.16 \ -0.08]$

. Оценка точности моделей по показателям  $\delta_{D1}$  и  $\delta_{D2}$  дала следующие результаты: для известной модели  $\delta_{D1} = 4.7\%$  и  $\delta_{D2} = 1.3\%$ , для предлагаемой модели  $\delta_{D1} = 1.1\%$  и  $\delta_{D2} = 1.2\%$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена линейная статистическая модель, предназначенная для согласования точностных характеристик измерительных устройств системы управления ЛА с характеристиками рассеивания ее фазовых координат в фиксированные моменты времени. Показана ее более высокая точность по сравнению с известными моделями. Применение данной модели позволяет повысить качество решения прямой задачи – прогнозирования характеристик точности СУ при изменении точностных характеристик измерительных устройств и обратной задачи – определения характеристик измерительных устройств, при которых удовлетворяются предъявляемые к СУ требования по точности.

## Список используемых источников

1. Механика полета. Системы управления космических аппаратов. – Ч. 2: учебник / под ред. В.В. Ефимова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 529 с.
2. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления. – М.: Наука, 1981. – 464 с.
3. Арсеньев В.Н. Определение требований к характеристикам разброса параметров системы управления летательного аппарата // Изв. вузов. Приборостроение. – 1996. – Т. 39, № 8–9. С. 7–13.

4. *Арсеньев В.Н.* Методика обоснования требований к характеристикам разброса параметров системы управления летательного аппарата. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2002. – 68 с.

5. *Арсеньев В.Н., Кохановский А.Г., Фадеев А.С.* Математическая модель связи изохронных вариаций переменных состояния системы управления с возмущениями параметров ее составных частей // Изв. вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 3. – С. 25–29.

6. *Чернецкий В.И.* Математическое моделирование стохастических систем. – Петрозаводск: ПГУ, 1994. – 488 с.

7. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1980. – 976 с.

А.А. Ардашов,  
кандидат техн. наук, старший научный сотрудник;  
Д.С.Б. Силантьев  
кандидат техн. наук, доцент;  
А.П. Софьин,  
кандидат техн. наук;  
Л.А. Фёдорова,  
кандидат техн. наук

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ

В статье представлены основные направления использования роботов в космосе. Рассмотрены как традиционные, так и перспективные движители космических роботов для тел Солнечной системы. Отмечено, что разнообразие условий окружающей среды, в которой работают роботы, послужило причиной появления большого количества типов движителей. Показана важность учета гравитации в процессе конструирования манипуляторов и движителей космических роботов для работы на различных космических телах.

Ключевые слова: космический робот, планетоход, движитель, гравитация.

### ВВЕДЕНИЕ

Функциональная схема космического робота включает информационную, управляющую, исполнительную системы, а также систему связи. Специфической для этих роботов является исполнительная система, которая включает манипуляторы и движители. Движители летающих роботов и роботов космических станций являются традиционными для космоса. Для напланетных роботов факторы космического пространства (вакуум, радиация, температура, рельеф, гравитационные условия) определяют выбор типа движителя при особых условиях.

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ

Робототехнические устройства в настоящее время находят применение в ряде областей освоения космического пространства. Можно указать три основных направления использования роботов в космосе [1]:

- использование роботов на поверхности Луны, планет и других космических тел;
- техническое обслуживание и инспекция орбитальных объектов, погрузочно-разгрузочные и спасательные работы на орбите и т.п.;
- использование роботов для внутрикорабельной и внекорабельной деятельности космонавтов (осмотр, регламентные и ремонтные работы и др.).

*Первое направление* применения средств робототехники в космосе может быть представлено советскими и американскими космическими кораблями, предназначенными для исследования Луны и Марса.

Автоматизированные комплексы «Луноход-1» (1970) и «Луноход-2» (1973), созданные специалистами НПО имени С.А. Лавочкина, успешно функционировали в течение нескольких месяцев на поверхности Луны, проехав по поверхности Луны около 50 км и проведя обследование физико-химических свойств грунта.

На Марсе функционировали четыре дистанционно управляемых робота США: в 1997 г. запущен марсоход «Sojourner» (массой 10 кг); с 2004 г. функционировали два однотипных

аппарата «Sprint» и «Opportunity» (по 174 кг); с 2013 г. по настоящее время работает марсоход «Curiosity» (массой 899 кг).

В самое ближайшее время прогнозируется создание и доставка на поверхность небесных тел планетоходов, созданных в России, США, Китае.

*Второе направление* применения средств робототехники в космосе в настоящее время развивается наиболее интенсивно. Примером использования роботов в открытом космосе являются манипуляционные роботы многоразовых космических кораблей «Буран» и «Спэйс Шаттл». Такие роботы позволяют перемещать в космическом пространстве различные объекты, а также фиксировать положение корабля относительно других объектов. На Земле эти манипуляторы не могут поднять даже собственного веса, зато в космосе являются очень эффективными.

Использование роботов в открытом космосе не ограничивается погрузочно-разгрузочными работами. Одно из самых перспективных направлений развития космонавтики связано с дистанционным обслуживанием орбитальных объектов с помощью космических роботов, получивших название КА-инспекторов, хотя их использование не ограничивается только инспекцией. Они могут применяться для осуществления ремонтных и строительных работ, дозаправки компонентами топлива космических аппаратов, борьбы с космическим мусором и др. К настоящему времени известен ряд успешно реализованных проектов КА-инспекторов в США, Китае, Швеции, Великобритании. Во всех этих аппаратах в качестве двигателя используются реактивные сопла, работающие на гидразине или концентрированной перекиси водорода.

*Третье направление* использования робототехнических систем в космосе связано с работами снаружи и внутри космических кораблей и станций. Первый пример использования космического робота «AERCam-Sprint» для обслуживания МТКК «Columbia» относится к 1997 г. Для обслуживания МКС специалистами NASA разработан проект наноробота «Mini AERCam» массой 5 кг. Робот имеет 12 электроракетных двигателей, работающих на ксеноне и предназначенных для перемещения робота вокруг и внутри станции.

Для использования на МКС NASA предложен летающий робот в форме небольшого куба с закругленными гранями (рис.1,а). Предполагается, что робот будет оснащен манипулятором, микрофоном, видеокамерой, другими датчиками, будет отслеживать качество воздуха, уровень шума, выполнять функции робота телеприсутствия для специалистов центра управления полетами.

а)



б)



Рис. 1. Роботы для обслуживания космических станций:  
а – робот в форме куба; б – человекоподобный робот

По данным [2] у НАСА появился человекоподобный робот (рис.1,б) – «Robonaut 2» (R2). Он представляет собой пока безногую человекоподобную фигуру, голова которой выкрашена золотой краской, а торс – белой. На руках у робота по пять пальцев с суставами, подобными суставам человека. Машина умеет писать, захватывать и складывать предметы, держать тяжелые вещи. В шлем вмонтированы четыре видеокамеры, благодаря которым робот не только ориентируется в пространстве, но и транслирует с них сигналы на мониторы диспетчеров. Общее число датчиков и сенсоров – более 350. Разрабатываемые для робота ноги-манипуляторы состоят из семи подвижных сегментов, которые заканчиваются специальными подвижными захватами. Эти манипуляторы предназначены для передвижения в невесомости по конструкциям станции, но не могут использоваться для передвижения по земле.

### ТРАДИЦИОННЫЕ ДВИЖИТЕЛИ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ

Облик мобильного робота в первую очередь определяется типом и конструкцией движителя, служащего для преобразования в процессе взаимодействия с внешней средой усилия, получаемого от двигателя, в тяговое усилие, движущее транспортное средство.

Практически невозможно создать универсальную конструкцию движителя, обеспечивающего передвижение в разнообразных условиях окружающей среды (сложный рельеф местности, необходимость перемещения по элементам сооружений, внутри зданий и космических станций и т.п.). Это обстоятельство является причиной создания большого числа компоновочных схем роботов с различными типами движителей. Для каждого типа движителя существует своя область применения. Они отличаются по энергозатратам, по сложности конструкции движителя, по кинематике. У каждого типа движителя имеются свои особенности, преимущества и недостатки.

Для наземных и напланетных роботов основными типами движителей являются колесо, гусеница, конечности, а также большое число их комбинаций: колесно-шагающие, колесно-гусеничные, роторные и т.д.

На луноходах и марсоходах используются по три пары колес. Разрабатывающийся в ЕКА пятнадцатикилограммовый планетоход «Solero» (рис. 2) имеет принципиально новую конструкцию шасси: шесть колес, расположенных по вершинам шестиугольника, обеспечивают ему отличную проходимость. В разработке планетохода «Solero» приняли участие Швейцарский федеральный политехнический институт и немецкая фирма «Von Hoerner & Sulger».



Рис. 2. Колесный планетоход «Solero»



Рис. 3. Гусеничный планетоход «Miro-2»

Движение колесного планетохода по пересеченной местности, в условиях гористого ландшафта и низкой гравитации будет крайне затруднено.

Европейское космическое агентство в сотрудничестве с некоторыми промышленными концернами разработало ряд гусеничных роботов, таких как двухкилограммовый «Nanokhod» («Наноход») или более крупный (12 кг) «Migo-2» (рис. 3). Роботы предназначены для изучения геологического строения планет вокруг посадочных модулей.

В космическом пространстве основным типом движителя является реактивное сопло, иногда рассматривается использование солнечного паруса.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Многие факторы космического пространства, их влияние на космические роботы, способы и средства защиты космических роботов достаточно подробно рассмотрены в различной литературе. Но один фактор не нашел необходимого отражения в проведенном анализе. Речь идет о широком диапазоне изменения гравитации на планетах и других телах Солнечной системы. Отличие гравитации от земной наиболее сильно влияет на конструирование манипуляторов и движителей космических роботов.

Гравитационное поле планеты, т.е. силовое поле, создаваемое массой заключенного в планете вещества, удобно оценивать отношением местного ускорения свободного падения к земному (табл. 1). Очевидно, что в космосе собственный вес робота полностью соответствует гравитационным условиям планеты, где робот используется.

Таблица 1

### Отношение ускорения свободного падения на планетах Солнечной системы к земному

Планета	Величина отношения	Планета	Величина отношения
Меркурий	0,38	Сатурн	1,17
Венера	0,88	Уран	1,05
Марс	0,39	Нептун	1,50
Юпитер	2,64	Плутон	0,25

Малые тела Солнечной системы – астероиды, спутники планет, малые и карликовые планеты – характеризуются крайне широким диапазоном значений ускорения свободного падения. Такие значения существенно ниже значения ускорения свободного падения на Земле. Например, на поверхности ближайшего к нам космического тела, Луне, ускорение свободного падения составляет 1,62 м/с<sup>2</sup> (на Земле – 9,81 м/с<sup>2</sup>). На Церере оно составляет 0,27 м/с<sup>2</sup>, а на астероиде Эрос (малая планета № 433) оно находится в диапазоне от 2,3 до 5,5 мм/с<sup>2</sup> [3].

В космосе можно встретить зоны, где произойдет «утяжеление» механизмов по сравнению с земными условиями, и, наоборот, в условиях орбитального полета любое тело практически потеряет вес. При широком диапазоне гравитационных условий, а значит и возможного собственного веса роботов, целесообразно рассматривать вариант их создания только для использования в конкретных космических зонах с установленными значениями гравитации.

Для космического пространства опробуются новые оригинальные типы движителей, к числу которых относится инерционный движитель.

В настоящее время НАСА спонсирует разработку роботизированных кубов для исследования астероидов [4]. Они могут перемещаться без использования колес или гусениц. Эта разработка связана с тем, что для работы в условиях низкой гравитации хорошо подходит



инерционный тип робота, способный передвигаться по неровной поверхности. Прототип такого робота, получившего название «Hedgehog» («Еж»), представили инженеры NASA [5]. Этот робот представляет собой куб, на поверхности которого нет ни одного подвижного механизма. Двигается такой робот (рис. 4), покрытый «шипами», за счет вращения трех двигателей-маховиков, которые расположены внутри куба. Принцип действия заключается в следующем: двигатели-маховики медленно раскручиваются до заданной скорости, затем включается тормоз, и происходит передача импульса силы от маховиков к корпусу робота. В результате этого робот начинает совершать движение (опрокидываться, подпрыгивать или крутиться) в направлении приложения усилия. Шипы являются элементами конструкции, которые служат для защиты робота и одновременно играют роль точек опоры. Предполагается, что в них можно разместить датчики и антенны.



Рис. 4. Робот с инерционным движителем



Рис. 5. Робот-обезьяна

Подобный способ передвижения не отличается высокой точностью, но он достаточно эффективен при низкой гравитации. Один из выполненных прототипов «Ежа» весит около 5 кг, конструкторы в следующей версии планируют добавить инструменты и увеличить его массу до 9 кг [6]. Для поддержания вращения маховиков достаточно солнечных батарей, размещенных на внешней стороне куба.

На Луне и Марсе применимы так называемые прыгающие роботы. Подобное практически неосуществимо на Земле с ее силой тяжести. Проблема передвижения роботов по пересеченной местности инженерами и планетарными геологами из Германии решается путем создания робота, способного осуществлять прыжки с различной тягой. Предполагается, что это позволит ему преодолевать препятствия, превышающие самого робота по размерам [7]. Создаваемый для этой цели робот «Hopter» в условиях марсианской гравитации (намного ниже земной) сможет подпрыгивать на высоту до четырех метров с помощью пружинящих ног, а его форма позволит ему не повреждаться в случае падения с высоты. Функционально робот «Hopter» предназначен для осуществления фотосъемки и трехмерных геофизических исследований.

При конструировании движителей часто используется бионический подход (рис. 5–7). В мире создано большое число робототехнических систем, различающихся по степени подобия живым существам [8]:

- человеку (антропоморфность);
- приматам (приматоморфность);
- насекомым (инсектоморфность);
- змеям (сентоморфность).

Человекоподобный космический робот представлен на рис. 1,б. Компания «Dentsu Inc.» (Япония) разрабатывает два человекоподобных робота в рамках проекта «KIBO»: роботы «Kigobo» и «Mirata». Робот «Kigobo» будет находиться с астронавтами на орбите Земли.

Робот «Justin» («Джастин»), разработанный в Институте робототехники и механотроники в Германии, будет ремонтировать спутники. У космической версии робота есть голова, туловище и руки, но нет ни колес, ни ног, потому что он будет стационарно смонтирован на космической станции.

Немецкий Научно-исследовательский центр искусственного интеллекта работает над роботом-обезьяной «iStruct Demonstrator» (рис. 5), которого разработчики позиционируют как «космического робота». В последнее время механическая обезьяна учится передвигаться по сложному лунному ландшафту.

Создатели робота «Jollbot» (Англия) опирались на возможности насекомых. Робот преодолевает препятствия, перепрыгивая их, как кузнечик или блоха. Для минимизации веса корпус робота образуют металлические прутья, расположенные подобно меридианам земного шара [9]. Внутри шара по его центральной оси установлены аккумуляторы, приводы, датчики, приемо-передатчик для дистанционного управления и передачи собранной информации. Приводы сжимают прутья, а потом отпускают их, заставляя тем самым подпрыгивать шар на полметра.

Роботы, имитирующие движения змеи (змеероботы), имеют членистое строение. Сегменты робота, число которых может меняться в широких пределах, играют роль скелета и наружного покрова. Взаимодействие одного из сегментов робота с поверхностью движения приводит к возникновению силы трения и вызывает перемещение робота по этой поверхности. Контактующий с поверхностью сегмент робота опирается на поверхность движения и создает толкающую силу (отталкивается). Результирующее движение робота задается системой управления (сигналами управления на привод отдельных блоков). Сегменты автономны в том смысле, что каждый из них имеет свой элемент питания, электродвигатель, управляющий процессор.

Для земных условий надежная передача движения от звена к звену в таком роботе потребует значительных затрат энергии и соответственно увеличения габаритных размеров и мощности привода. В условиях низкой гравитации мощность приводных устройств будет явно ниже за счет снижения веса элементов конструкции и затрат на трение в кинематических парах, а также между роботом и поверхностью движения.

Змееподобный робот, представленный на рис. 6, имеет структуру из 21 сегмента [10]. Другим примером змееподобного робота является японский робот «АСМ-R5», который умеет не только ползать, но и плавать. Робот состоит из девяти сегментов, его вес составляет 7,5 кг, длина – 175 см. В Израиле разработан змееподобный робот «SnakeBot», ориентированный на военное применение, в сегментах которого имеются заряды взрывчатого вещества.

На основе изучения движения простейших амёб можно предложить еще один нетрадиционный способ передвижения роботов.

Корпус, в котором размещены блок управления, научная аппаратура и механизмы для контроля формы внешней оболочки робота-амёбы [11], выполнен из прочного мягкого материала и может менять форму (рис. 7). Для изменения формы предполагается использовать мягкие емкости со специальной жидкостью, насос и набор клапанов, магниты с переключаемой полярностью, меняющие форму ячеистые полимерные емкости с наполнителем. Применяемая технология позволит роботу сжимать одну часть корпуса и растягивать другую. Таким образом, робот будет передвигаться как амёба. Скорость передвижения такого робота явно невысока, но зато он имеет очень высокую проходимость по каменистому и рыхлому грунту, снегу, льду. Немаловажно и то, что герметичный мягкий корпус лучше защищен от погодных факторов и ударов.

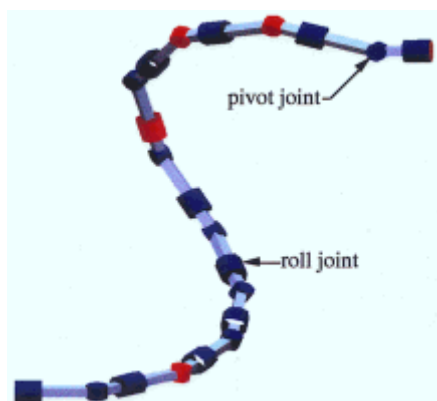


Рис. 6. Змееподобный робот



Рис. 7. Робот-амеба

Еще одним примером использования подобия живым организмам служит напланетный робот «Agamies/Scorpion», разработка которого в Бременском университете (Германия) инициирована Европейским космическим агентством. Восемь ног позволяют роботу передвигаться подобно скорпиону по сильно пересеченной местности и песчаным дюнам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для космических роботов различного назначения могут использоваться как традиционные движители (колеса, гусеницы, конечности – для напланетных роботов, реактивные сопла – для летающих роботов), так и специфические движители, принцип действия которых учитывает особенности космического пространства. К ним относятся движители, сходные с различными двигательными элементами живых существ, таких как человек, приматы, змеи, гусеницы, скорпионы, амёбы и др. Кроме того, в напланетных роботах применяются нетрадиционные движители при создании инерционных и прыгающих роботов.

## Список используемых источников

1. Ардашов А.А., Арсеньев В.Н., Силантьев С.Б. Современное состояние и терминологическая база космической робототехники // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 144–151.
2. <http://argumenti.ru/science/2013/12/304597> (дата обращения: 02.09.2016).
3. <http://element114.narod.ru/Education/edu9phys/near.html> (дата обращения: 02.09.2016).
4. <http://roboting.ru/space-robots> (дата обращения: 02.09.2016).
5. <http://hitech.newsru.com/article/07sep2015/nasa> (дата обращения: 02.09.2016).
6. <http://www.techcult.ru/robots/2585-robot-ezh> (дата обращения: 02.09.2016).
7. <http://news.day.az/unusual/737227.html> (дата обращения: 02.09.2016).
8. Тимофеев А.Н., Шардыко И.В. Проблемы применения в космосе антропоморфных роботов // Робототехника и техническая кибернетика. – М., 2013. – № 1. – С. 37–41.
9. Карпенко А.П. Робототехника и системы автоматизированного проектирования. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 71 с.
10. <http://roboty6.narod.ru/space.htm> (дата обращения: 02.09.2016).
11. [http://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/sleduyushchij\\_marsohod\\_nasa\\_budet\\_ameboj](http://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/sleduyushchij_marsohod_nasa_budet_ameboj) (дата обращения: 02.09.2016).

В.Н. Арсеньев,

*доктор техн. наук, профессор;*

К.Г. Зиновьев

1-й Государственный испытательный космодром МО РФ;

С.Б. Силантьев,

*кандидат техн. наук, доцент*

## **ВЗВЕШЕННЫЙ УЧЕТ АПРИОРНОЙ И ОПЫТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

Рассматривается задача оценивания показателей долговечности сложной системы по результатам испытаний ограниченного числа опытных образцов. Для повышения качества оценок предлагается использовать метод приоритета опытной информации, позволяющий объединить все имеющиеся априорные и опытные данные о характеристиках надежности.

Ключевые слова: сложная система, надежность, долговечность, ограниченные испытания, метод приоритета опытной информации.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Надежность является комплексным свойством сложной системы (СС), характеризующим ее способность выполнять целевые задачи в заданных режимах и условиях применения. Одной из основных составных частей надежности является долговечность – свойство СС сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта [1]. Долговечность может характеризоваться временем или другими физическими величинами [2]. Для оценивания показателей долговечности проводятся исследования СС на всех этапах ее создания. Получаемая при этом информация может быть условно разделена на априорную (полученную расчетными методами, путем моделирования, на основе натуральных испытаний составных частей системы, при эксплуатации систем близких модификаций и т.д.) и опытную (полученную по результатам натуральных испытаний опытных образцов СС). Опытная информация обладает максимальной достоверностью. Однако, по очевидным причинам, объем ее ограничен. Вследствие этого опытные оценки показателей долговечности обладают низким качеством. Для повышения качества оценивания используется априорная информация.

В настоящее время количество методов, позволяющих производить совместную обработку априорных и опытных данных, достаточно ограничено [3–10]. Сложности их применения связаны, главным образом, либо с необходимостью выбора априорных распределений (методы, основанные на подходе Байеса), либо с неопределенностью в выборе весов априорной и опытной информации в апостериорных оценках соответствующих показателей. Для решения данной задачи предлагается использовать метод приоритета опытной информации (ПОИ), который, на наш взгляд, лишен этих ограничений [11, 12].

В ряде работ [2, 13, 14] отмечено, что распределение времени, характеризующего долговечность системы, эксплуатируемой в режиме износа и старения, хорошо аппроксимируется логарифмически нормальным (логнормальным) законом распределения. Поэтому в качестве показателей долговечности можно использовать математическое ожидание и дисперсию времени сохранения системой работоспособного состояния. Следует также отметить, что логнормальному закону распределения подчинены случайные величины, используемые для описания процесса возникновения отказов из-за усталостных изломов, прочностных свойств сплавов [14], а также величины, характеризующие размеры и объем частиц при дроблении, заработную плату работников, среднедушевой доход семьи и т.д. [13]. Он широко использу-

ется в теории надежности, в экономической статистике, статистической физике, статистической геологии, биологии, в ряде физических приложений [15].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Полагается, что время  $0 < \hat{t} < \infty$ , в течение которого СС сохраняет работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта, имеет логнормальное распределение, функция плотности распределения которого

$$\varphi_{\hat{t}}(t; \boldsymbol{\mu}) = \varphi_{\hat{t}}(t; m, d) = \frac{1}{t\sqrt{2\pi d}} \exp\left\{-\frac{(\ln t - m)^2}{2d}\right\}, \quad (1)$$

где  $\boldsymbol{\mu} = [m \ d]^T$  – вектор параметров распределения.

Следует заметить, что значок « $\wedge$ » в формуле (1) используется для обозначения случайной величины.

Параметры  $m$  и  $d$  распределения (1) связаны с математическим ожиданием  $M_{\hat{t}}$  и дисперсией  $D_{\hat{t}}$  времени  $\hat{t}$  соотношениями [13]:

$$M_{\hat{t}} = e^{m+d/2}; \quad D_{\hat{t}} = e^{2m+d}(e^d - 1) \quad (2)$$

или

$$m = \ln\left(\frac{M_{\hat{t}}^2}{\sqrt{D_{\hat{t}} + M_{\hat{t}}^2}}\right); \quad d = \ln\left(1 + D_{\hat{t}}/M_{\hat{t}}^2\right). \quad (3)$$

Опытная информация, полученная по результатам натуральных испытаний  $N_c$  опытных образцов, представлена выборкой  $t_i, i = \overline{1, N_c}$ .

В процессе априорных исследований, предшествующих натурным испытаниям, получены априорные оценки  $M_p$  и  $D_p$  математического ожидания  $M_{\hat{t}}$  и дисперсии  $D_{\hat{t}}$  времени  $\hat{t}$ .

Требуется оценить показатели долговечности СС  $M_{\hat{t}}$  и  $D_{\hat{t}}$  по всей имеющейся (априорной и опытной) информации, т.е. получить их апостериорные оценки.

Поскольку показатели  $M_{\hat{t}}$  и  $D_{\hat{t}}$  связаны с параметрами  $m$  и  $d$  распределения (1) однозначными зависимостями (2) и (3), то в данном случае можно найти апостериорные оценки  $m_a$  и  $d_a$  параметров  $m$  и  $d$ , а затем по формулам (2) – апостериорные оценки  $M_a$  и  $D_a$  показателей долговечности  $M_{\hat{t}}$  и  $D_{\hat{t}}$ .

## ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТНЫХ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

В соответствии с методом ПОИ [12] необходимо по выборке  $t_i, i = \overline{1, N_c}$ , найти оценки максимального правдоподобия (МП) показателей  $M_{\hat{t}}$  и  $D_{\hat{t}}$ , которые в дальнейшем называются опытными оценками.

Функция правдоподобия для выборки  $t_i, i = \overline{1, N_c}$  из совокупности с логнормальным распределением (1) имеет вид

$$\prod_{i=1}^{N_c} \varphi_{\hat{t}}(t_i; \boldsymbol{\mu}) = \prod_{i=1}^{N_c} \varphi_{\hat{t}}(t_i; m, d) = \frac{1}{(2\pi d)^{N_c/2} \prod_{i=1}^{N_c} t_i} \exp\left\{-\frac{1}{2d} \sum_{i=1}^{N_c} (\ln t_i - m)^2\right\}. \quad (4)$$

Поскольку функция  $\varphi_t^\wedge(t; \mathbf{\mu})$  является регулярной в смысле первой и второй производных по параметрам  $m$  и  $d$  [16], то оценки МП  $m_o$  и  $d_o$  параметров  $m$  и  $d$  удовлетворяют системе уравнений

$$\left. \frac{\partial \ln \prod_{i=1}^{N_c} \varphi_t^\wedge(t_i; m, d)}{\partial m} \right|_{m=m_o, d=d_o} = 0 ; \left. \frac{\partial \ln \prod_{i=1}^{N_c} \varphi_t^\wedge(t_i; m, d)}{\partial d} \right|_{m=m_o, d=d_o} = 0.$$

Решением этой системы уравнений являются опытные оценки

$$m_o = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} \ln t_i ; d_o = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} (\ln t_i - m_o)^2, \quad (5)$$

по которым в соответствии с выражением (2) определяются опытные оценки показателей долговечности

$$M_o = e^{m_o + d_o/2}; D_o = e^{2m_o + d_o} (e^{d_o} - 1). \quad (6)$$

## ПОЛУЧЕНИЕ АПОСТЕРИОРНЫХ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Из формул (5) следуют соотношения:

$$\prod_{i=1}^{N_c} t_i = e^{m_o N_c} \text{ и } \sum_{i=1}^{N_c} (\ln t_i - m_o)^2 = N_c d_o + N_c (m_o - m)^2. \quad (7)$$

Подстановка их в функцию правдоподобия (4) дает

$$L(\mathbf{\mu}_o; \mathbf{\mu}) = L(m_o, d_o; m, d) = \frac{1}{(2\pi d)^{N_c/2}} \exp \left\{ -N_c \left[ m_o + \frac{d_o + (m_o - m)^2}{2d} \right] \right\}, \quad (8)$$

где  $\mathbf{\mu}_o = [m_o \ d_o]^T$ .

Отношение правдоподобия для проверки гипотезы  $H: m = m_p, d = d_p$  характеризует близость результатов априорных исследований долговечности СС к опытным данным и определяется по формуле [12]

$$v^* = \frac{L(\mathbf{\mu}_o; \mathbf{\mu}_p)}{L(\mathbf{\mu}_o; \mathbf{\mu}_o)} = \frac{L(d_o, m_o; d_p, m_p)}{L(d_o, m_o; d_o, m_o)} = \left( \frac{d_o}{d_p} \right)^{N_c/2} \exp \left\{ \frac{N_c}{2} \left[ 1 - \frac{d_o}{d_p} - \frac{(m_o - m_p)^2}{d_p} \right] \right\}, \quad (9)$$

где  $\mathbf{\mu}_p = [m_p \ d_p]^T$ .

Входящие в выражение (9) априорные оценки  $m_p$  и  $d_p$  параметров  $m$  и  $d$  определяются по формулам, аналогичным (3):

$$m_p = \ln \left( M_p^2 / \sqrt{D_p + M_p^2} \right); d_p = \ln \left( 1 + D_p / M_p^2 \right). \quad (10)$$

Поскольку в качестве коэффициента, определяющего вес опытных данных, обычно используется число испытаний  $N_c$ , то, по аналогии, для определения веса априорной информации предлагается использовать число  $N_p = v^* N_c$ . Если предположить, что априорная и опытная информация является однородной (справедлива гипотеза  $H$ ), то для априорных оценок  $m_p$  и  $d_p$  можно ввести функцию, аналогичную функции правдоподобия (8),

$$L(\mathbf{\mu}_p; \mathbf{\mu}) = L(m_p, d_p; m, d) = \frac{1}{(2\pi d)^{N_p/2}} \exp \left\{ -N_p \left[ m_p + \frac{d_p + (m_p - m)^2}{2d} \right] \right\}.$$

В этом случае произведение

$$L = L(\mu_c; \mu) L(\mu_p; \mu) = \frac{1}{(2\pi d)^{(N_c + N_p)/2}} \exp \left\{ -N_c m_o - N_p m_p - \frac{N_c [d_o + (m_o - m)^2] + N_p [d_p + (m_p - m)^2]}{2d} \right\}$$

может рассматриваться как функция правдоподобия для реальной выборки, полученной по результатам испытаний, и для некоторой гипотетической выборки, соответствующей априорной информации.

Из необходимых условий максимума функции  $L$  по параметрам  $m$  и  $d$  определяются их апостериорные оценки:

$$m_a = \frac{m_o + v^* m_p}{1 + v^*}; \quad d_a = \frac{d_o + v^* d_p}{1 + v^*} + \frac{v^* (m_o - m_p)^2}{(1 + v^*)^2}. \quad (11)$$

Тогда показатели долговечности СС, учитывающие всю имеющуюся априорную и опытную информацию, можно получить по формулам (2):

$$M_a = e^{m_a + d_a/2}; \quad D_a = e^{2m_a + d_a} (e^{d_a} - 1). \quad (12)$$

## ПРИМЕР ОЦЕНИВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается сложная система, эксплуатируемая в режиме износа и старения. Время  $\hat{t}$ , характеризующее долговечность, имеет логнормальное распределение.

Далее, по результатам предварительных исследований СС получены априорные оценки показателей долговечности (математического ожидания  $M_{\hat{t}}$  и дисперсии  $D_{\hat{t}}$  времени  $\hat{t}$ ):  $M_p = 860$  ч;  $D_p = 30000$  ч<sup>2</sup>. Соответствующие им параметры логнормального распределения согласно (10) имеют вид:  $m_p = 6.7371$  и  $d_p = 0.0398$ .

Проведены испытания девяти опытных образцов СС на долговечность. Полученная опытная информация представлена выборкой:  $t_1 = 1215$  ч,  $t_2 = 907$  ч,  $t_3 = 769$  ч,  $t_4 = 1004$  ч,  $t_5 = 610$  ч,  $t_6 = 886$  ч,  $t_7 = 1121$  ч,  $t_8 = 1312$  ч,  $t_9 = 725$  ч. На основе этих данных по формулам (5) и (6) получены опытные оценки  $m_o = 6.8286$  и  $d_o = 0.0566$  параметров  $m$  и  $d$  логнормального распределения, а также показателей долговечности системы –  $M_o = 950$  ч,  $D_o = 52576$  ч<sup>2</sup>.

Отношение правдоподобия, характеризующее близость результатов априорных исследований долговечности системы к опытным данным (9), будет следующим:

$$v^* = 0.2826.$$

В соответствии с формулами (11) и (12) найдены апостериорные оценки показателей долговечности системы  $M_a = 930$  ч,  $D_a = 48310$  ч<sup>2</sup>. Точность этих оценок выше, чем опытных, поскольку они могут рассматриваться как оценки, полученные по результатам испытаний не девяти, а опытных образцов (здесь  $E[\cdot]$  – функция округления до ближайшего целого числа).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены апостериорные оценки показателей долговечности сложной системы, включающие результаты априорных исследований системы на надежность и натурных испытаний опытных образцов. Точность этих оценок выше, чем оценок, полученных только по результатам испытаний опытных образцов, причем, чем ближе априорная информация к опытным данным, тем больше выигрыш в точности оценивания. Максимальный выигрыш получается при полном совпадении априорной и опытной информации, что эквивалентно двукратному увеличению опытных данных.

### Список используемых источников

1. Справочник по эксплуатации космических средств / под ред. А.П. Полякова. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2006. – 758 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1965. – 524 с.
3. Пугачев В. Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. – М.: Сов. радио, 1973. – 256 с.
4. Городецкий В.И. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / под ред. Р.М. Юсупова. – Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
5. Летные испытания ракет и космических аппаратов / Е.И. Кринецкий, Л.Н. Александровская, А.В. Шаронов, А.С. Голубков. – М.: Машиностроение, 1979. – 464 с.
6. Щербаков П.С. Использование априорной информации для уточнения оценок параметров // Изв. АН СССР. Автоматика и телемеханика. – 1988. – № 5. – С. 80–89.
7. Арсеньев В. Н. Новые методы принятия решений при ограниченных экспериментальных данных. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999. – 90 с.
8. Моррис У. Наука об управлении. Байесовский подход. – М.: Мир, 1971. – 304 с.
9. ГОСТ 27.201-81. Оценка показателей надежности при малом числе наблюдений с использованием дополнительной информации. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 1981.
10. Пат. России № 2015553. Статистический анализатор / Арсеньев В.Н. – 1994, Бюл. №12.
11. Арсеньев В. Н., Ардашов А. А., Зайцев М. А. Оценивание характеристик надежности сложных систем по результатам испытаний ограниченного числа опытных образцов // Сб. статей II Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – С. 190–191.
12. Арсеньев В. Н. Оценивание характеристик систем управления по ограниченному числу натурных испытаний. – М.: Рестарт, 2013. – 126 с.
13. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: справочное изд. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
14. Надежность и эффективность в технике: справочник / под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1988. – Т. 5: Проектный анализ надежности. – 316 с.
15. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Корольок, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литер., 1985. – 640 с.
16. Уилкс С. Математическая статистика. – М.: Наука, 1967. – 632 с.



Д.Г. Белянин,  
кандидат техн. наук;  
О.К. Овчинникова,  
кандидат техн. наук;  
С.Ю. Пирогов,  
доктор техн. наук, доцент

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ АТМОСФЕРНО-ВАКУУМНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

В статье рассмотрены газодинамические процессы, протекающие при запуске атмосферно-вакуумной аэродинамической трубы. Авторами проведен ряд вычислительных экспериментов в программном комплексе Ansys Fluent. На основе полученных результатов дана оценка эффективности камеры Эйфеля и подробно рассмотрен процесс прохождения ударной волны через вакуумную камеру для различных геометрических параметров сопел. Проведенные вычислительные эксперименты позволили сделать вывод, что процессы запуска сопел не оказывают влияния на процессы, протекающие в объеме вакуумной камеры, так как их характерное время существенно меньше.

Ключевые слова: аэродинамическая труба, численное моделирование.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перспективным направлением развития экспериментальной базы является внедрение новых экономичных технологий при проведении экспериментов. Одним из путей снижения затрат на проведение экспериментов в аэродинамической лаборатории является замена труб «ресиверного» типа на атмосферно-вакуумные. В атмосферно-вакуумных трубах используется в качестве рабочего тела атмосферный воздух, и в отличие от труб «ресиверного» типа для них не требуются запасы сжатого воздуха.

В статье рассматривается труба атмосферно-вакуумного типа с закрытой рабочей частью и сменными соплами. Труба позволяет создавать в рабочей части поток с числом Маха в диапазоне от 1,3 до 4 и проводить комплекс газодинамических и аэродинамических исследований:

- исследование картин обтекания тел сверхзвуковым потоком;
- исследование распределения давления по поверхности тел;
- исследование определения сопротивления тел в сверхзвуковом потоке.

По своему функциональному назначению аэродинамическая труба аналогична аэродинамическим трубам СТ-2 и СТ-3. По сравнению с указанными аэродинамическими трубами АДТ СТ-4 обладает следующими преимуществами:

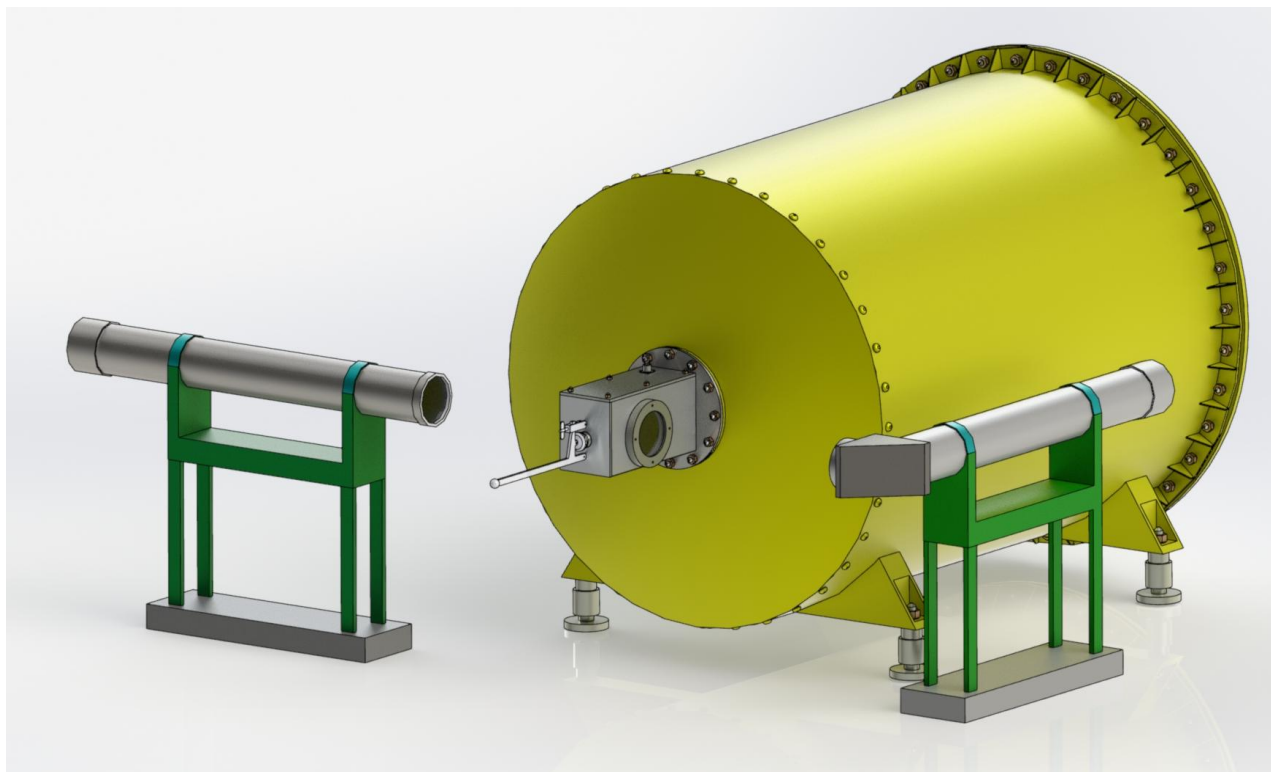
- высокой скоростью подготовки трубы к пуску;
- отсутствием ограничений на количество пусков;
- меньшими затратами электроэнергии на один пуск;
- отсутствием воздуха высокого давления в цикле работы аэродинамической трубы.

К недостаткам такой аэродинамической трубы следует отнести следующие:

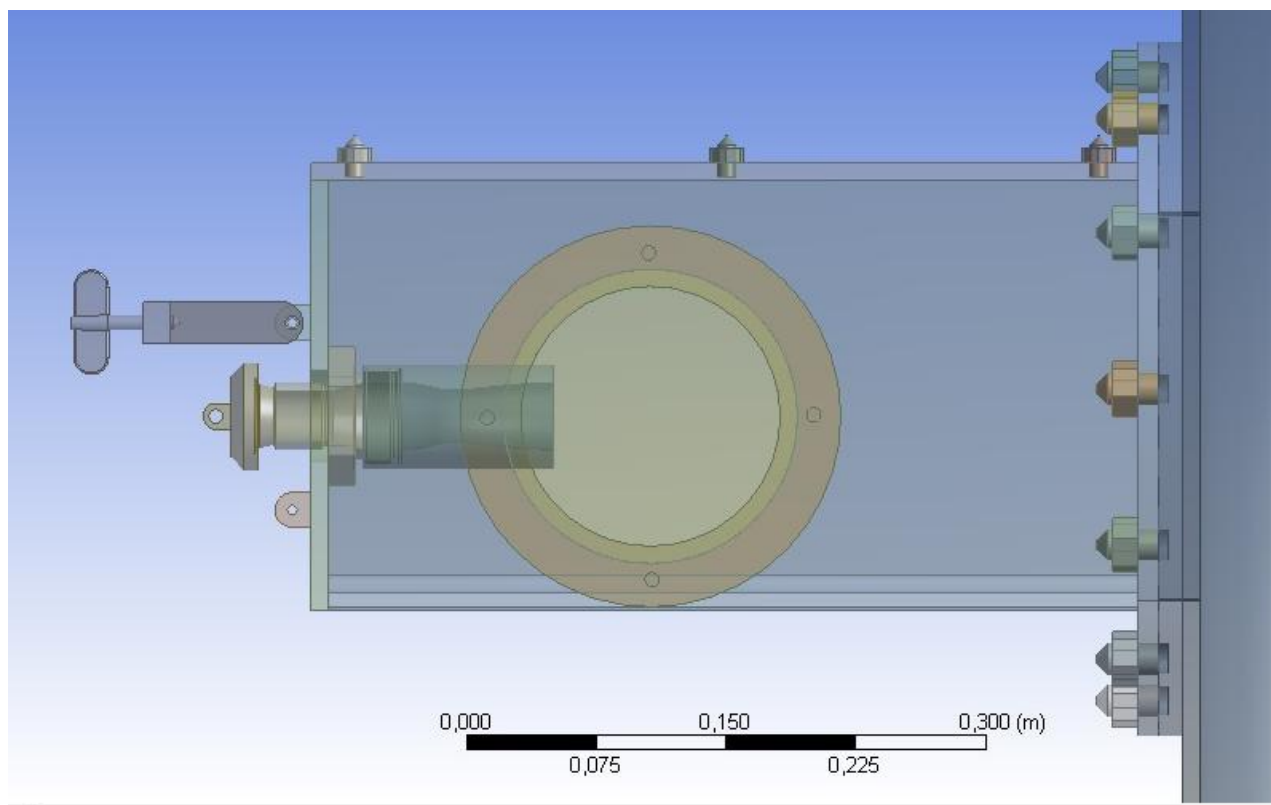
- меньший размер рабочей части по сравнению с аэродинамическими трубами СТ-2 и СТ-3, что накладывает ограничения на размеры применяемых моделей;
- более короткое время стационарного режима работы, которое зависит от числа Маха установленного сопла;
- трудности регулирования скорости потока во время пуска.

Вместе с тем, несмотря на указанные недостатки, АДТ СТ-4 позволяет выполнять весь комплекс аэродинамических исследований моделей, который возможен при использовании

аэродинамических труб СТ-2 и СТ-3. Вид и модель атмосферно-вакуумной аэродинамической трубы СТ-4 представлены на рис.1 и 2.



*Рис. 1. Общий вид атмосферно-вакуумной аэродинамической трубы СТ-4*



*Рис. 2. Модель атмосферно-вакуумной аэродинамической трубы СТ-4*

## ЗАДАЧИ И УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Одним из важных вопросов, связанных с работой атмосферно-вакуумных труб, является *определение времени пускового режима*.

В статье представлено решение двух задач газовой динамики, связанных с процессом запуска атмосферно-вакуумной аэродинамической трубы. Расчеты проведены в программном комплексе Ansys Fluent (лицензия ВКА имени А.Ф. Можайского № 1020993), для генерации расчетных сеток использован блочный структурированный подход в Ansys Icem CFD [1].

Здесь рассматриваются решения следующих задач: оценки влияния параметров конфузора на эффективность камеры Эйфеля и исследования динамики заполнения вакуумной камеры. При решении обеих задач использован солвер «density based», в качестве рабочего тела рассматривается воздух, подчиняющийся модели совершенного газа. На входной границе в ресивере задано давление 101325 Па, давление в вакуумной камере составляет 10 Па, значение температуры постоянно и равно 300 К. При инициализации расчетная область разделена на две части по критическому сечению сверхзвукового сопла, слева от разделительной линии параметры равны параметрам в ресивере, справа – параметрам в вакуумной камере. На границах, моделирующих стенки канала и вакуумной камеры, использованы условия непротекания и прилипания потока (нормальная и тангенциальная составляющие вектора скорости равны нулю). Задача оценки влияния параметров конфузора на эффективность камеры Эйфеля решена в стационарной двумерной осесимметричной постановке. При этом приводятся случаи невязкого и турбулентного течений. Для моделирования турбулентности использована модель  $k-\omega$  SST. Поскольку отличие полученных в различных постановках результатов не превышает 5%, дальнейшие вычислительные эксперименты были проведены в невязкой постановке, так как скорость сходимости решения в этом случае выше [2].

Задача исследования динамики заполнения вакуумной камеры была решена в нестационарной невязкой двумерной осесимметричной постановке. Для обеспечения устойчивости счета при наличии больших градиентов газодинамических параметров число Куранта варьировалось в ходе расчета от 0,01 до 0,25.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Первой из поставленных задач было исследование влияния геометрии конфузорного сопла на выходе из камеры Эйфеля на давление в рабочей части. В табл. 1 приведены значения радиусов входного и выходного сечений моделируемых сопел. Геометрия рассматриваемой в данной задаче расчетной области включает в себя ресивер, сопло Лавалья, камеру Эйфеля, конфузорное сопло и фрагмент вакуумной камеры. На рис. 3 показаны полученные изолинии полей чисел Маха.

Таблица 1

Параметры геометрических моделей

№ эксперимента	Радиус входного сечения сопла $R_{in}$ , мм	Радиус выходного сечения $R_{out}$ , мм	Длина сопла $l_{cv}$ , мм
1	32,5	22,5	65,0
2	35,0	25,0	65,0
3	37,5	27,5	65,0
4	39,0	29,0	65,0
5	41,0	31,0	65,0
6	43,0	33,0	65,0

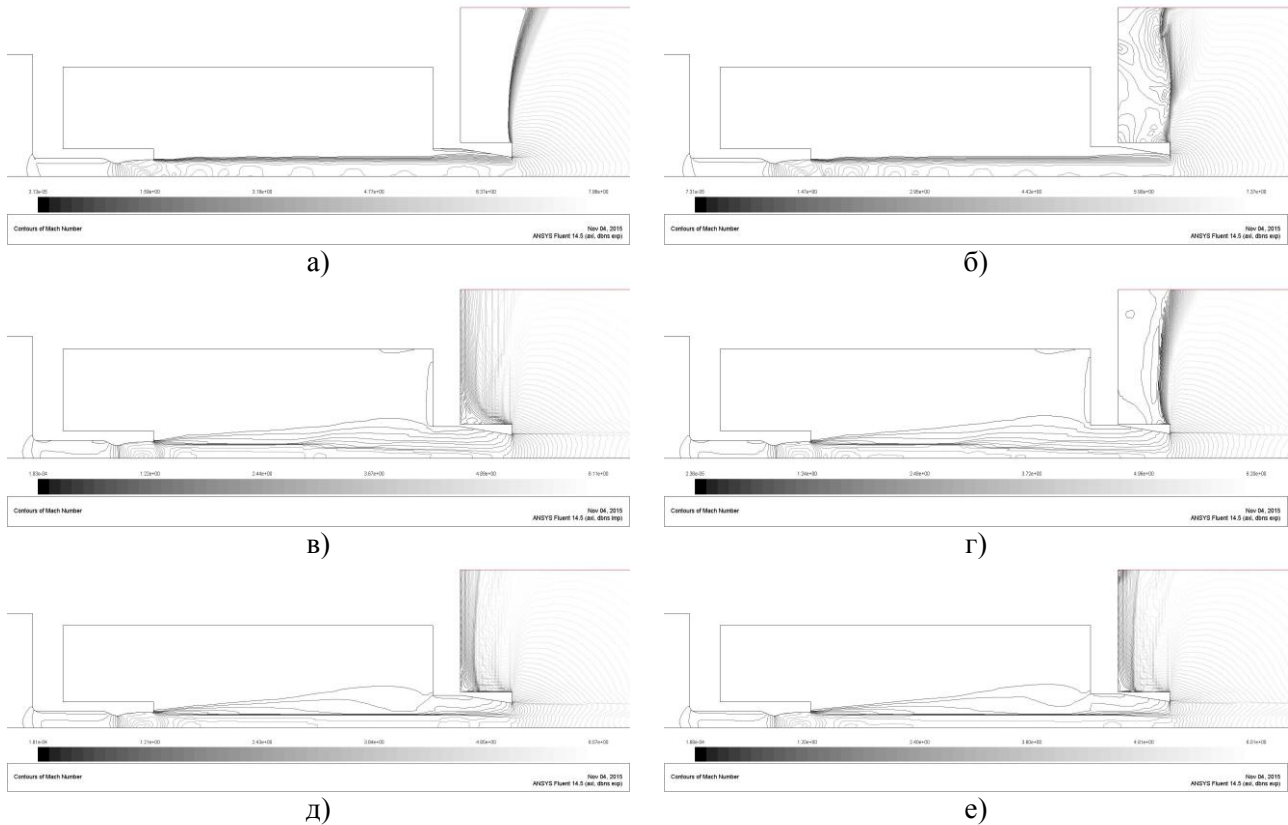


Рис. 3. Поля чисел Маха:  
 а – эксперимент № 1; б – эксперимент № 2; в – эксперимент № 3;  
 г – эксперимент № 4; д – эксперимент № 5; е – эксперимент № 6

Второй задачей являлось исследование влияния геометрических чисел Маха профилированных сопел, установленных на входе в рабочую часть трубы при отсутствии конфузорного сопла на выходе, на время заполнения вакуумной камеры. Расчеты проведены на блочных структурированных сетках, число ячеек составляло 650 тысяч.

Все указанные сопла имеют одинаковый радиус выходного сечения, но рассчитаны на различные геометрические числа Маха потока, равные 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 соответственно. В табл. 2 приведены некоторые геометрические характеристики моделируемых сопел.

Таблица 2

### Параметры геометрических моделей

№ эксперимента	Геометрическое число Маха	Относительная площадь критического сечения сопла, $f = F_d / F_{кр}$	Радиус среза сопла $R_d$ , мм	Радиус критического сечения $R_{кр}$ , мм	Длина сверхзвуковой части сопла $l_{св}$ , мм
1	1,5	1,17	20,00	18,45	58,00
2	2	1,69	20,00	15,40	58,00
3	2,5	2,63	20,00	12,32	58,00
4	3	4,23	20,00	9,72	58,00
5	3,5	6,78	20,00	7,68	58,00

Обработка полученных результатов позволила выявить зависимость между значением давления, устанавливающегося в камере Эйфеля, и значениями геометрических характеристик используемых конических сопел. На рис. 4 представлен график полученной зависимости.

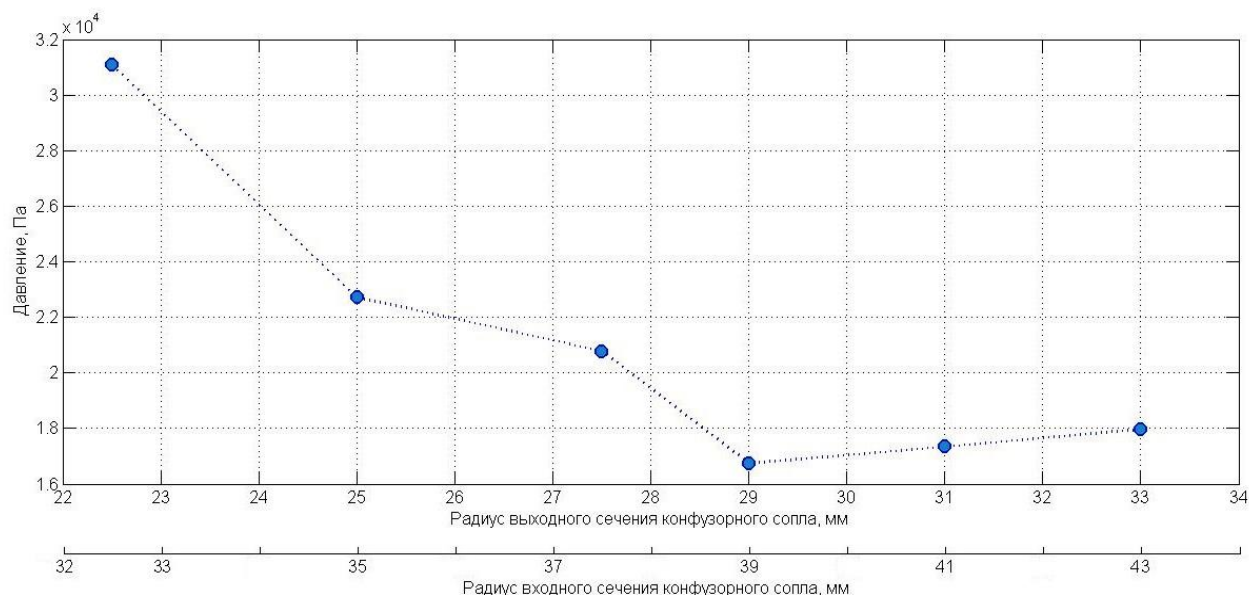


Рис. 4. Зависимость давления в камере Эйфеля от геометрии конфузорного сопла

Профиль сверхзвуковой части сопла был задан таблично координатами точек. Профилирование дозвуковой части сопла и горла проводилось согласно определенной методике [3]. Была использована схема, изображенная на рис. 5.

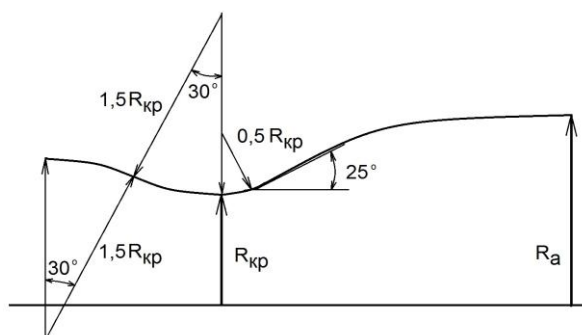


Рис. 5. Схема профилирования сопла

На рис. 6 показана динамика заполнения вакуумной камеры, в качестве средства визуализации представлены поля чисел Маха в различные моменты времени для сопла с геометрическим числом Маха, равным двум.

Для всех рассмотренных сопел характерна аналогичная картина течения: на протяжении первой миллисекунды струя выходит из рабочей части и образует сферическую ударную волну на входе в вакуумную камеру. За время порядка 4 мс от условного запуска трубы (начало расчета) ударная волна доходит до правой стенки вакуумной камеры. Затем отраженная ударная волна взаимодействует с основным потоком газа, образуя ко времени порядка 8 мс стабильную структуру. К этому времени давление в вакуумной камере в среднем составляет 100 Па. То есть за 8 мс давление увеличивается в 10 раз.

На рис. 7–9 представлено сравнение развитых полей течения в моменты времени 2, 4, 6 мс от начала расчета для различных сопел. Для сравнения рассматриваются поля плотности.

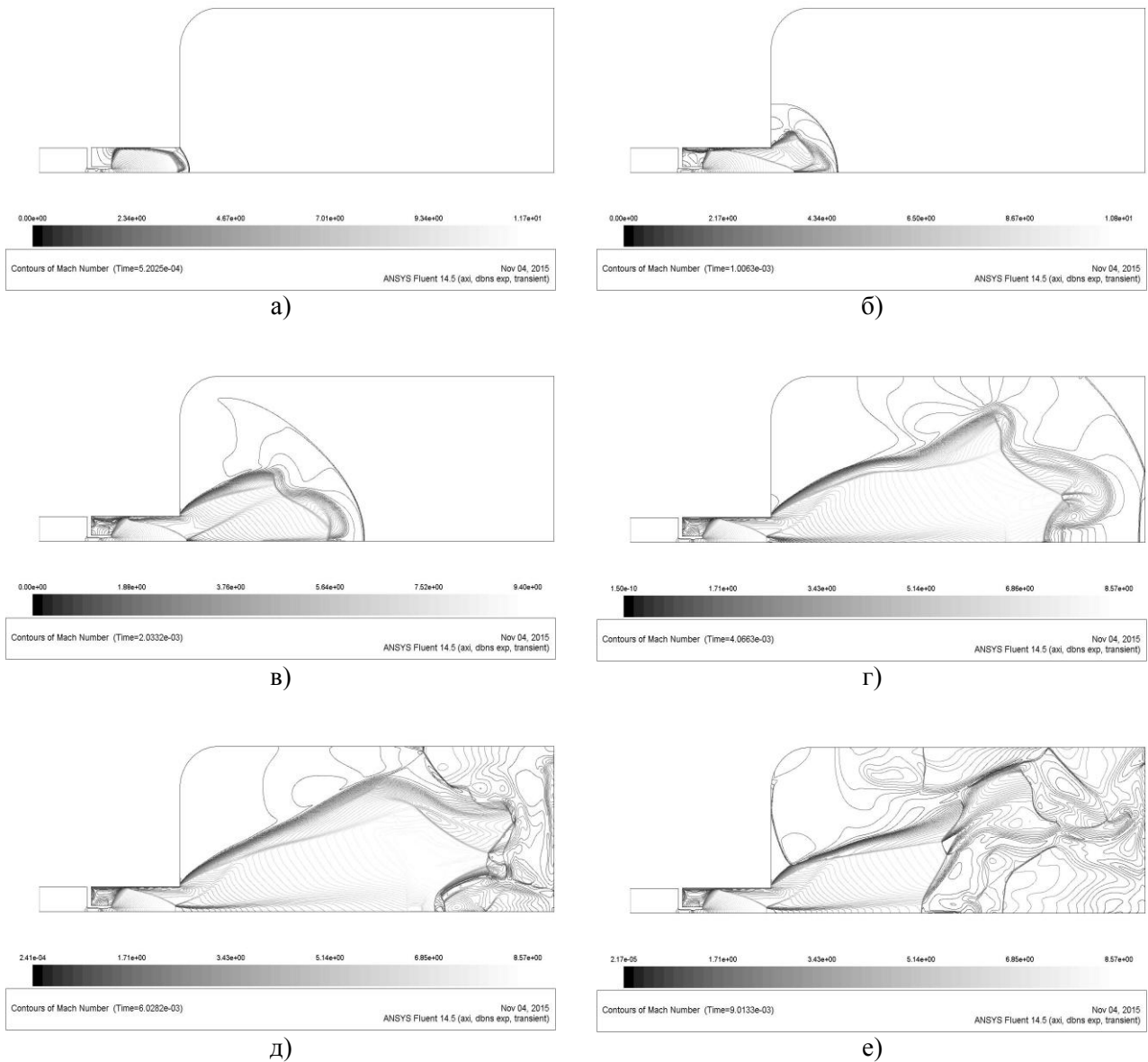


Рис. 6. Изолинии поля чисел Маха в различные моменты времени для эксперимента № 2:  
 а – 0,5 мс; б – 1 мс; в – 2 мс; г – 4 мс; д – 6 мс; е – 9 мс

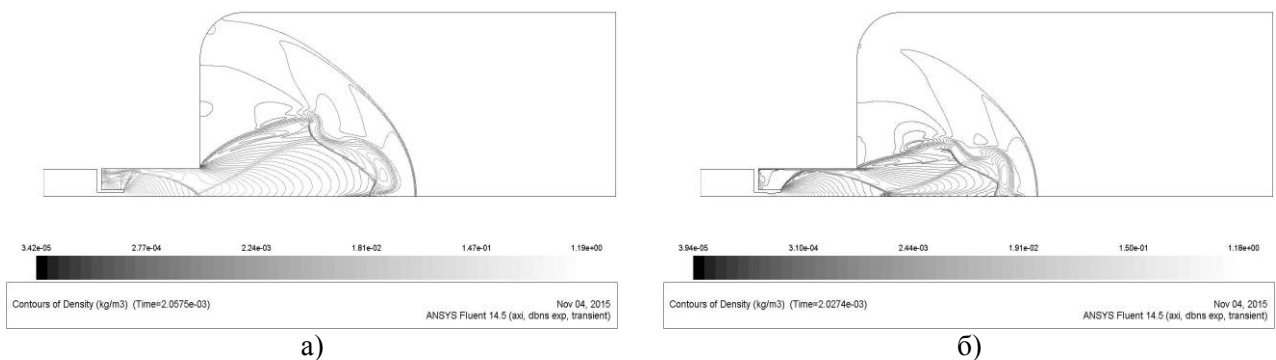


Рис. 7. Изолинии поля плотности для различных сопел через 2 мс:  
 а – эксперимент № 1; б – эксперимент № 5

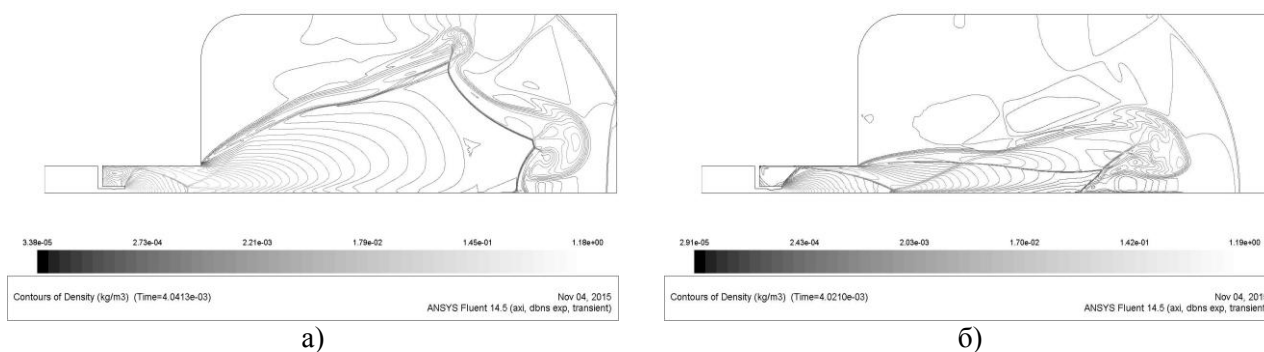


Рис. 8. Изолинии поля плотности для различных сопел через 4 мс:  
 а – эксперимент № 1; б – эксперимент № 5

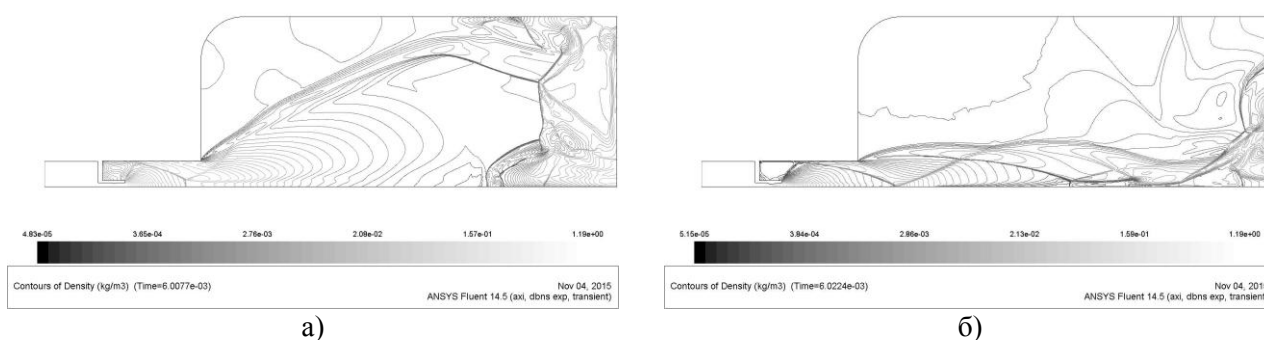


Рис. 9. Изолинии поля плотности для различных сопел через 6 мс:  
 а – эксперимент № 1; б – эксперимент № 5

Одной из задач проведенного исследования была оценка времени прохождения ударной волны через объем вакуумной камеры (от критического сечения сопла до стенки вакуумной камеры). В табл. 3 и на рис. 10 приведены значения и зависимость этой величины от геометрического числа Маха.

Таблица 3

**Время прохождения ударной волны через вакуумную камеру**

№ эксперимента	Геометрическое число Маха	Время прохождения ударной волны, мс
1	1,5	3,84
2	2,0	3,98
3	2,5	4,05
4	3,0	4,19
5	3,5	4,38

Как можно видеть, при увеличении геометрического числа Маха сопла время прохождения ударной волны монотонно возрастает, но для всех рассмотренных сопел остается в пределах 3,8–4,5 мс. Таким образом, можно сделать вывод, что характерное время процессов, протекающих в вакуумной камере, существенно меньше времени выхода сопла на режим. Следовательно, пусковые процессы не оказывают влияния на процессы, протекающие в объеме вакуумной камеры.

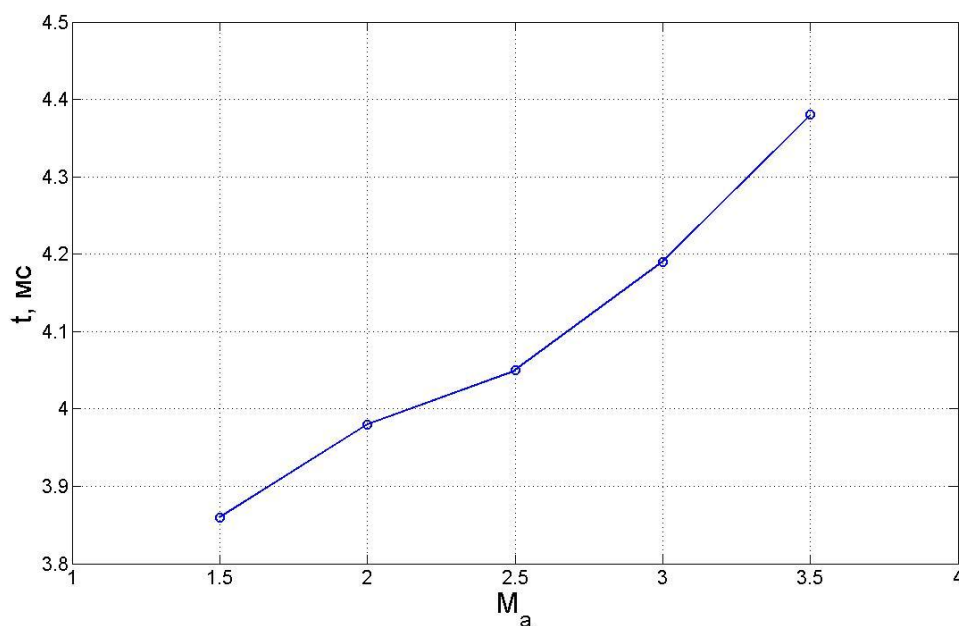


Рис. 10. Зависимость времени прохождения ударной волны от числа Маха.

В табл. 4 приведены аналитические значения соответственно скорости и давления, полученные численным расчетом и аналитически в выходном сечении сопла. Расчет аналитических значений был проведен по формулам изэнтропического течения.

Таблица 4

#### Время прохождения ударной волны через вакуумную камеру

№ п/п	Геометрическое число Маха	Время прохождения ударной волны, мс	Скорость истечения, м/с			Давление на $p_a$ , кПа		
			аналитически	экспериментально	Погрешность, %	аналитически	экспериментально	Погрешность, %
1	1,5	3,86	432,25	438,77	1,51	27,60	25,33	8,22
2	2	3,98	517,28	518,30	0,20	12,95	12,71	1,85
3	2,5	4,05	578,33	573,99	0,75	5,93	5,90	0,51
4	3	4,19	622,12	615,59	1,05	2,76	2,91	5,43
5	3,5	4,38	653,87	642,78	1,70	1,33	1,42	6,77

Как можно видеть, отличие аналитически и численно полученных значений не превышает 10%. При этом нельзя выявить четкую зависимость погрешности решения от режима течения. Поскольку численное решение является нестационарным, в каждой точке наблюдаются колебания параметров и экспериментально полученные значения, приведенные в таблицах, были зафиксированы в различные моменты времени и могут соответствовать противоположным границам доверительного интервала оценки соответствующей величины.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные вычислительные эксперименты позволили сделать вывод, что процессы запуска сопел не оказывают влияния на процессы, протекающие в объеме вакуумной камеры, так как их характерное время процесса установления существенно меньше.

Выполненные оценки погрешности вычислительного эксперимента относительно аналитического решения дают основания утверждать, что решение, полученное в Ansys Fluent в нестационарной постановке, можно представить как виртуальный экспериментальный стенд для изучения сложных ударно-волновых процессов, протекающих при запуске атмосферно-вакуумной аэродинамической трубы.

### Список используемых источников

1. *Любимов А.К., Шабарова Л.В.* Методы построения расчетных сеток в пакете Ansys Icem CFD. – Нижний Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 2011.
2. *Волков К.Н., Емельянов В.Н.* Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. – М.: Физматлит, 2013.
3. *Сахин В.В.* Устройство и действие энергетических объектов. – СПб.: Балтийский гос. техн. ун-т, 2008.

Д.А. Булекбаев,

*доктор техн. наук, доцент;*

А.В. Морозов,

*канд. физ.-мат. наук, профессор*

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В МАШИННОМ АГРЕГАТЕ С ФРИКЦИОННОЙ МУФТОЙ СЦЕПЛЕНИЯ**

Предлагается новый метод расчета параметров переходного процесса в машинном агрегате с фрикционной многодисковой муфтой сцепления, основанный на исследовании нелинейной системы дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: фрикционная муфта сцепления, работа сил трения, переходный процесс, нелинейные дифференциальные уравнения.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Фрикционные муфты сцепления широко используются в современной строительной и дорожной технике (автомобилях, колесных и гусеничных тракторах, грейдерах, экскаваторах и т.д.). Кроме того, они применяются в тепловозах и электровозах, дробилках и мельницах, прокатных станах и блюмингах, а также во всевозможных приводах для отбора мощности в электрических машинах. Хорошо известны инженерам и специалистам по эксплуатации этой техники и проблемы, связанные с муфтами. Перечислим некоторые наиболее распространенные из них: спекание фрикционных дисков, вследствие значительных термических нагрузок на фрикционных поверхностях; коробление фрикционных дисков; появление трещин и пр., в результате чего – преждевременный выход муфт из строя и, как следствие, временные потери на ремонтные работы. В этой связи является актуальной задача о разгоне машинного агрегата общего предназначения и расчета параметров переходного процесса как для эксплуатации, так и для анализа и синтеза муфт сцепления. Важнейшим из параметров, определяющих надежность и долговечность муфты сцепления, является работа сил трения (работа буксования) при ее включении – она непосредственно связана с тепловыделением в муфте и используется при тепловом расчете муфты. Второй параметр – это мощность сил трения, третий – время разгона агрегата с переключением скорости оператором (или системой управления) с одной передачи на другую и с переходом от одного установившегося режима к другому, а также построение диаграмм зависимостей времени переходного процесса  $\sigma$  от параметров двигателя и муфты.

Наиболее точные математические модели, описывающие динамику машинных агрегатов, представляют собой совокупность большого числа нелинейных уравнений, что отражает многомассовость узлов, входящих в машинный агрегат, податливость звеньев и упругих связей и, как следствие, влечет за собой большое число степеней свободы. К сожалению, такие модели допускают только численное исследование с использованием компьютеров и трудны для качественного анализа, а следовательно, и для синтеза конструкции агрегата в целом. Для ряда задач динамики машин, в частности для задачи о разгоне машинного агрегата, целесообразна редукция системы большой размерности к системе из двух уравнений. Это становится возможным, если отказаться от учета упругости звеньев в приводе агрегата и двигателе. В данном случае математическая модель сводится к описанию двух инерционных

масс, на которые действуют три силовых момента (моменты от двигателя, нагрузки полезных сопротивлений и фрикционной связи). На этом пути в последние годы предлагалось много моделей и методик для исследования процесса разгона и торможения машинного агрегата и получения оценок важнейших параметров переходного процесса. Однако все предложенные модели, известные авторам этой статьи, сводились к линейным дифференциальным уравнениям простейших типов.

В настоящей статье рассматривается качественно новая нелинейная модель, описывающая динамику машинного агрегата, представленного двумя сосредоточенными массами, приведенными к оси вращения фрикционной муфты. При этом внешний крутящий силовой момент  $M_{дв}(t)$  и момент нагрузки  $M_c(t)$  предполагаются нестационарными – заданными функциями времени  $t$ , момент сил трения муфты определяется мультипликативной функцией вида  $M_T(t, \omega_1 - \omega_2) = f(t)g(\omega_1 - \omega_2)$ , где сомножитель  $f(t)$  представляет собой нестационарную часть, связанную с механизмом включения муфты (с динамикой прижимного диска), второй сомножитель  $g(\omega_1 - \omega_2)$  – нелинейную зависимость момента трения от скорости  $\omega_1 - \omega_2$  проскальзывания фрикционных дисков.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ МАШИННОГО АГРЕГАТА

Наиболее общая двухмассовая модель машинного агрегата с двигателем внутреннего сгорания или дизелем и фрикционной муфтой сцепления имеет следующий вид:

$$\begin{cases} I_1(\dot{\varphi}_1)\ddot{\varphi}_1 = M_{дв}(\dot{\varphi}_1) - M_T(t, \dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2), \\ I_2\ddot{\varphi}_2 = M_T(t, \dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - M_c(t, \varphi_2, \dot{\varphi}_2). \end{cases} \quad (1)$$

- Здесь  $I_1, I_2$  – приведенные к оси вращения вала муфты моменты инерции ведущей и ведомой частей машинного агрегата;
- $\varphi_1, \varphi_2$  – углы поворота ведущей и ведомой полумуфт;
- $\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2$  – угловые скорости полумуфт;
- $\ddot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_2$  – угловые ускорения полумуфт;
- $M_{дв}(\dot{\varphi}_1)$  – крутящий момент на валу двигателя, приведенный к оси вращения муфты (статическая характеристика двигателя, обычно представляемая нелинейной функцией угловой скорости  $\dot{\varphi}_1$ );
- $M_c(t, \varphi_2, \dot{\varphi}_2)$  – приведенный к валу муфты момент сил полезных сопротивлений, приложенных к агрегату;
- $M_T(t, \dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)$  – момент сил трения, приложенный к ведущей полумуфте со стороны ведомой (в общем случае  $M_T(t, \dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)$  является функцией двух переменных: времени  $t$  и скорости буксования  $\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2$ ).

Таким образом, в уравнениях (1) упругие связи в приводе и двигателе не отражены, что является широко применяемой идеализацией при изучении процесса разгона и торможения машинных агрегатов.

Будем полагать момент инерции масс ведущей части  $I_1(\varphi_1)$ , приведенный к валу муфты, постоянной величиной при усреднении  $I_1(\varphi_1)$  по промежутку  $[0, 2\pi]$ ,

$$I_1 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_1(\varphi_1) d\varphi_1.$$

### СХЕМАТИЗАЦИЯ СИЛОВЫХ ФУНКЦИЙ ДВИГАТЕЛЯ, ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ И ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ

Все наиболее известные подходы к задаче о разгоне машинного агрегата с фрикционной муфтой основываются на следующей идеализации переходного процесса, описываемой системой (1). Крутящий момент на валу двигателя  $M_{дв}(\dot{\varphi}_1)$  считают заданной функцией времени  $t$  из заранее определенного класса непрерывных функций  $\{M(t)\}$ . Часто в качестве класса  $\{M(t)\}$  выступают кусочно-линейные функции времени  $t$ .

На рис. 1 представлены типовые характеристики силовых функций, наиболее адекватно описывающих динамику силовых агрегатов. На этом же рисунке представлены и схематизированные характеристики фрикционных муфт, которые также выбирают из класса кусочно-линейных функций. Кроме того, анализируя динамику переходных процессов в строительных и дорожных машинах, правомерно предположение о постоянстве момента полезных сопротивлений. Это также отражено на рис. 1. Следует отметить, что, по существу, задание моментов  $M_T, M_C, M_{дв}$  в виде кусочно-линейных функций времени позволяет привести характерные диаграммы изменения угловых скоростей  $\omega_1 = \dot{\varphi}_1, \omega_2 = \dot{\varphi}_2$  – ведущей и ведомой частей агрегата (рис. 2).

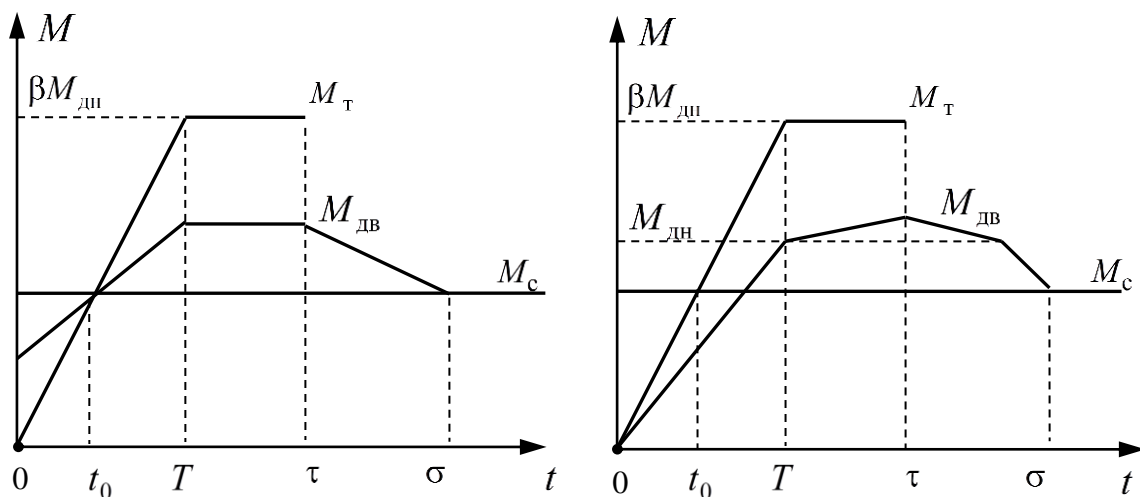


Рис. 1. Характеристики силовых функций

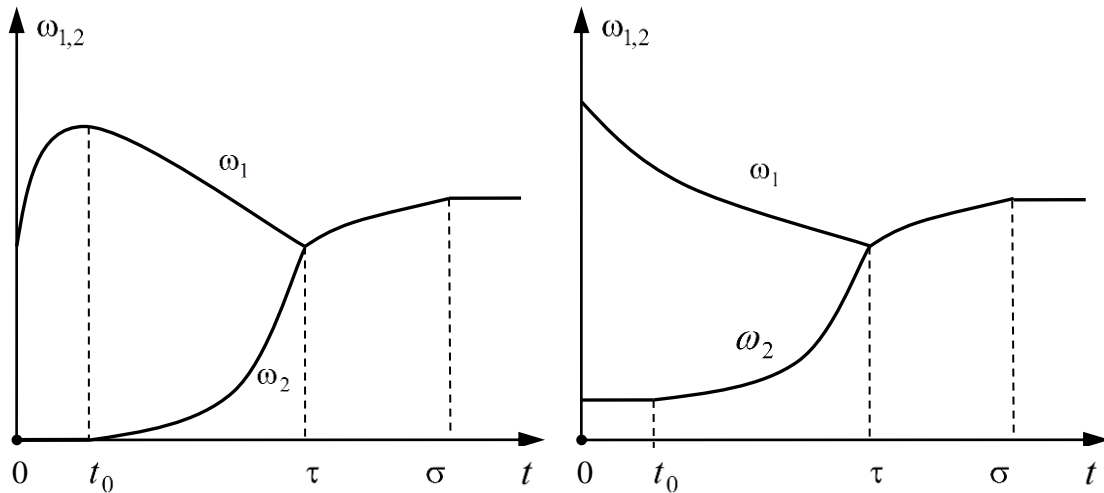


Рис. 2. Диаграммы изменения угловых скоростей

На рис. 1  $M_{дн}$  обозначает номинальный момент двигателя,  $\beta$  – коэффициент запаса муфты по сцеплению,  $M_c$  – постоянный момент сопротивления. Для строительных и дорожных (гусеничных и колесных) машин величина момента сопротивления, как правило, принимается постоянной:  $M_c = const$ .

В методе, которой изложен ниже, кусочная линейность функции  $M_{дв}(t)$  и момента трения  $M_T$  не предполагается. Крутящий момент на валу двигателя будем считать непрерывной произвольно заданной функцией времени, определяемой соотношениями:

$$M_{дв}(t) = \begin{cases} m_1(t), & t \in [0, T], \\ m = m_1(T) = const, & t \in [T, \tau], \\ m_2(t), & t \in [\tau, \sigma], \end{cases} \quad (2)$$

- где  $t = 0$  – момент начала включения фрикционной муфты;  
 $t = T$  – момент полного включения муфты, при этом сила со стороны прижимного диска достигает максимума;  
 $t = \tau$  – момент сцепления дисков (момент синхронизации муфты);  
 $t = \sigma$  – момент выхода агрегата на установившийся режим, при этом  $M_{дв}(\sigma) = M_c(\sigma, \varphi_2(\sigma), \dot{\varphi}_2(\sigma)) = const$ ;  
 $m_1(t), m_2(t)$  – заданные монотонные возрастающие и убывающие функции времени  $t$  так, что производные  $\dot{m}_1(t) > 0, \dot{m}_2(t) \leq 0$ .

В частности, силовой крутящий момент  $M_{дв}(t)$  при  $t \in [0, T]$  может быть взят, например, из класса параболических или экспоненциальных функций.

Анализ большого числа результатов экспериментов дает возможность заключить, что момент сил трения дисков муфты в диапазоне рабочих скоростей при включении может быть охарактеризован функцией [1–3]

$$M_T(t, \omega_1 - \omega_2) = f(t)e^{-\lambda r(\omega_1 - \omega_2)}. \quad (3)$$

Здесь силовая функция будет иметь вид

$$f(t) = n\mu r N_0 u(t)$$

где	$n$	– количество пар трения;
	$\mu$	– коэффициент трения между дисками;
	$r$	– приведенный радиус поверхности контакта дисков;
	$N_0$	– максимальное значение нормального давления со стороны нажимного диска;
	$\lambda$	– коэффициент, зависящий от материала дисков, теплового состояния муфты и ряда других факторов;
	$u(t)$	– нормированная неубывающая функция, задающая динамику перемещения нажимного диска муфты в процессе ее включения, которую можно задать линейной, параболической, экспоненциальной или другого вида и для которой $u(t) = 1$ при $t \geq T$ .

Необходимо отметить, что вид функции (управления)  $u(t)$  определяется конструкцией механизма включения. Момент сил полезных сопротивлений  $M_c$  далее принимается постоянным. Однако общность рассуждений не изменится, если силовой момент  $M_c$  будет представлен функцией времени  $t$ .

## МЕТОД РАСЧЕТА

Хорошо известно, что переходный процесс в машинном агрегате с фрикционной муфтой может быть разбит на три этапа. На первом этапе включения муфты ведомый вал неподвижен либо вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega_2^0$ , при этом движение ведущего вала подчинено уравнению

$$I_1 \dot{\omega}_1 = m_1(t) - f(t)e^{-\lambda r(\omega_1 - \omega_2^0)} \quad (4)$$

с начальным условием

$$\omega_1(0) = \omega_1^0. \quad (5)$$

Уравнение (4) следует рассматривать на промежутке  $[0, t_0]$ , где  $t_0$  – момент времени начала ускоренного движения ведомого вала.

Уравнение (4) является нелинейным относительно угловой скорости. Заменой

$$z_1(t) = e^{\lambda r \omega_1(t)} \quad (6)$$

приведем его к виду линейного уравнения

$$\frac{dz_1}{dt} = pm(t)z_1 - pkf(t). \quad (7)$$

Здесь параметры  $p$  и  $k$  соответственно обозначают:  $p = \frac{\lambda r}{I_1}$ ,  $k = e^{\lambda r \omega_2^0}$ .

Получаем общее решение уравнения (7):

$$z_1(t) = \left( C - pk \int f(t) e^{-p \int m(t) dt} dt \right) e^{p \int m(t) dt}. \quad (8)$$

Здесь  $C$  – произвольная постоянная.

Из формул (6) и (8) найдем общий интеграл уравнения (4):

$$e^{\lambda r \omega_1(t)} = \left( C - pk \int f(t) e^{-p \int m(t) dt} dt \right) e^{p \int m(t) dt},$$

а затем – общее решение

$$\omega_1(t) = \frac{1}{\lambda r} \ln \left( C - pk \int f(t) e^{-p \int m(t) dt} dt \right) + \frac{1}{I_1} \int m(t) dt. \quad (9)$$

Произвольную постоянную  $C$  выберем так, чтобы решение (9) удовлетворяло начальному условию (5). Получим

$$\omega_1(t) = \frac{1}{\lambda r} \ln \left( e^{\lambda r \omega_1^0} - \frac{\lambda r}{I_1} e^{\lambda r \omega_2^0} \int_0^t f(t) e^{-\frac{\lambda r}{I_1} \int_0^t m(t) dt} dt \right) + \frac{1}{I_1} \int_0^t m(t) dt.$$

Момент времени  $t_0$  (момент начала ускоренного движения ведомого вала) найдем из условия равенства момента сил трения моменту сил сопротивления. Последнее означает, что необходимо найти корень уравнения

$$f(t) \cdot e^{-\lambda r (\omega_1(t) - \omega_2^0)} = M_c. \quad (10)$$

В общем случае для нахождения корня уравнения (10) требуется применить какой-либо из численных методов, например метод Ньютона. При автоматизации процесса расчета можно использовать стандартные программные продукты (например, Matlab или Maple).

Движение полумуфта на втором этапе включения  $t \in [t_0, T]$  подчинено уравнениям

$$\begin{aligned} I_1 \dot{\omega}_1 &= m(t) - f(t) e^{-\lambda r (\omega_1 - \omega_2)}, \\ I_2 \dot{\omega}_2 &= f(t) e^{-\lambda r (\omega_1 - \omega_2)} - M_c \end{aligned} \quad (11)$$

с начальными условиями

$$\omega_1(t_0) \equiv \omega_1^0, \quad \omega_2(t_0) \equiv \omega_2^0. \quad (12)$$

Уравнения (11) приведем к одному уравнению относительно скорости буксования  $\omega(t) = \omega_1 - \omega_2$ :

$$I_1 \dot{\omega} = m_1(t) - f_1(t) e^{-\lambda r \omega}. \quad (13)$$

Здесь  $m_1(t) \equiv m(t) + I_1 I_2^{-1} M_c$ ,  $f_1(t) \equiv (I_1 + I_2) I_2^{-1} f(t)$ .

Начальным условием для уравнения (13) будет относительная угловая скорость ведущего и ведомого валов, полученная в конце первого этапа,

$$\omega(t_0) = \omega_1^0 - \omega_2^0 \equiv \omega^0. \quad (14)$$

Уравнение (13) с точностью до обозначений совпадает с уравнением (4). Его решение с учетом начального условия (14) имеет вид

$$\omega(t) = \frac{1}{\lambda r} \ln \left( e^{\lambda r \omega^0} - \frac{\lambda r}{I_1} \int_{t_0}^t f_1(t) e^{-\frac{\lambda r}{I_1} \int_{t_0}^t m_1(t) dt} dt \right) + \frac{1}{I_1} \int_{t_0}^t m_1(t) dt.$$

Третий этап синхронизации муфты начинается с мгновения  $T$  – полного включения муфты и выхода двигателя на максимальный режим работы и заканчивается в мгновение  $\tau$  сцепления муфты. При этом двигатель развивает номинальный вращающий момент  $m_t$ . Уравнение относительно скорости буксования полумуфт на третьем этапе имеет аналогичный вид

$$I_1 \dot{\omega} = m_2 - f_2 e^{-\lambda r \omega}, \quad (15)$$

где  $m_2 = m_0 + I_1 I_2^{-1} M_c$ ,  $f_2 = (I_1 + I_2) I_2^{-1} n \mu r N_0 = \text{const}$ .

Начальное условие для (15) определяется из предыдущего этапа:

$$\omega(T) = \omega^1. \quad (16)$$

Из выражений (15) и (16) находим

$$\omega(t) = \frac{1}{\lambda r} \ln \left( e^{\lambda r \omega^1} + \frac{n \mu r N_0}{m_0} \left( e^{-\frac{\lambda r m_0 (t-T)}{I_1}} - 1 \right) \right) + \frac{m_0}{I_1} (t-T).$$

Решая трансцендентное уравнение  $\omega(t) = 0$ , находим мгновение сцепления полумуфт  $\tau = T + \ln(1 - \delta) - \ln(e^{\lambda r \omega^1} - \delta)$ . Здесь  $\delta = n \mu r N_0 m_0^{-1}$  – коэффициент запаса муфты по сцеплению.

Таким образом, суммарная работа сил трения  $A$  при буксовании муфты складывается из трех работ  $A_1, A_2, A_3$  и представляется суммой интегралов

$$A = k \int_0^{t_0} (\omega_1(t) - \omega_2^0) f(t) e^{-\lambda r \omega_1(t)} dt + \int_{t_0}^T \omega(t) f(t) e^{-\lambda r \omega(t)} dt + f_2 \int_T^{\tau} \omega(t) e^{-\lambda r \omega(t)} dt.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели наиболее нагруженный режим переходного процесса, когда время синхронизации фрикционной муфты больше времени ее включения:  $\tau > T$ . Если же сцепление полумуфт произойдет раньше наступления максимального сжатия фрикционных дисков муфты, т.е. при  $\tau \leq T$ , то величина последней работы будет равна нулю. При вычислении работы трения  $A_2$  следует верхний предел интегрирования  $T$  во втором интеграле заменить на  $\tau$ .

Изложенный метод расчета работы буксования фрикционной муфты сцепления, обладает рядом достоинств по сравнению с ранее известными методами [4–9]. Он относительно прост, учитывает нелинейный характер сил трения по отношению к скорости проскальзывания дисков, что соответствует природе явления и ранее не учитывалось при расчете муфт. И наконец, он универсален, т.е. применим к фрикционным муфтам сцепления различных конструкций.

## Список используемых источников

1. Морозов А.В., Черных А.К. Метод расчета работы сил трения, затрачиваемой на включение фрикционной муфты. Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения // Труды V Международной конференции. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 348–349.



2. *Морозов А.В., Веприяк А.И.* Оценка работы сил трения фрикционной муфты сцепления // Теория и практика современной науки: материалы IX Международной научной конференции, г. Москва, 26-27.03.13. – Спецкнига, 2013.
3. *Вейц В.Л., Кочура А.Е.* Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение, 1976. – 423 с.
4. *Шаринов В.М.* Конструирование и расчет тракторов. – М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.
5. *Кирдяшев Ю.Н.* Метод расчета процесса включения фрикционных муфт транспортных машин // Труды ЛПИ. – 1954. – Вып. 2. – С.53–61.
6. *Малаховский В.Э.* Тракторные муфты сцепления постоянно замкнутого типа // Труды НАТИ. – 1960. – Вып.115. – С.37–43.
7. *Барский И.Б., Эглит И.М., Шаринов В.М.* Инженерный метод расчета полной работы буксования тракторной муфты сцепления // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1977. – № 9. – С.16–17.
8. *Борисов С.Г., Юденко В.Я.* Расчет момента трения и работы буксования муфты сцепления с учетом переменности значения коэффициента трения // Труды НАТИ. – 1971. – Вып. 210. – С. 71–81.
9. *Шаринов В.М., Коломиец С.Н.* Работа буксования фрикционной муфты сцепления // Вестник машиностроения. – 1987. – № 7. – С.31–33.

Е.П. Вишняков,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
А.В. Ильин,  
*кандидат техн. наук;*  
М.А. Швайковский,  
*кандидат техн. наук, доцент*

## ДИАГНОСТИКА ОБРЫВА ФАЗЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Проведен анализ возможностей определения повреждений линий электропередачи по параметрам аварийного режима. Представлены основные признаки, характеризующие неполнофазные режимы работы в радиальных схемах и схемах с двухсторонним питанием. Предлагается способ обнаружения неполнофазного режима работы линий электропередачи, основанный на измерении емкостных токов и углов сдвига фаз между токами и напряжениями на защищаемой линии.

Ключевые слова: определение мест повреждения линий, неполнофазный режим, емкостной ток, обрыв фазы, релейная защита, фазовое соотношение между током и напряжением.

### ВВЕДЕНИЕ

Как любое техническое устройство, линии электропередач подвержены неблагоприятным воздействиям. Воздействия могут быть разными по своему происхождению. Поскольку от качества функционирования систем электроснабжения зависит и качество технологического процесса, актуальными становятся предупреждения, своевременные выявления повреждений и их ликвидация.

В настоящее время существуют различные способы определения мест повреждения воздушной линии (ВЛ) 110–220 кВ с одного конца линии по параметрам аварийного режима. Эти способы предназначены для определения короткого замыкания (КЗ) и его вида по соотношению симметричных составляющих тока КЗ, которые проявляют себя в аварийных режимах с последующим дистанционным определением места повреждения при КЗ на линиях. Технически выявление обрыва фазы ЛЭП при применении этих способов невозможно. Данную задачу можно решить путем проведения комплексного измерения токов защищаемой линии, т.е. с помощью диагностики и выявления неполнофазного режима воздушной линии по токам.

Современные микропроцессорные приборы для определения мест повреждения линий позволяют достаточно точно измерять емкостные токи, диапазон которых может варьироваться от единиц до нескольких десятков ампер в значениях первичного тока (для линий 110–220 кВ). Эти токи могут измеряться как в режиме без нагрузки [режим холостого хода (ХХ)], так и в переходном процессе либо в послеаварийном режиме. Режим холостого хода воздушной линии характеризуется фазовым соотношением между емкостным током линии и напряжением на шинах питающей подстанции, соответствующим углу  $90^{\circ}$  или углу, максимально близким к нему по значению (с учетом потерь в линии при протекании емкостных токов). В послеаварийном режиме на включенной под напряжением ненагруженной линии (режим ХХ) необходимо выполнить замер токов и напряжений с последующей оценкой «обрыва фазы» при выполнении соотношений, в том числе и фазовых, характерных для линии на холостом ходу с обрывом фазы.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ КАК ОБРЫВА

Измерению емкостных токов фаз линии предшествует идентификация повреждения как обрыва. Идентификацию можно провести либо с использованием приборов для определения места повреждения, например, применяя микропроцессорный прибор определения мест повреждения (ОМП) типа ИМФ-ЗР [1], либо по параметрам устройств релейной защиты (аналитически по определенным признакам срабатывания защиты можно выявить возникновение неполнофазного нагрузочного режима ВЛ в процессе ее повреждения).

Выявление неполнофазного режима при помощи релейной защиты можно осуществить по двум признакам. Первый признак характерен для защит линий с двусторонним питанием. Известно, что при неполнофазном режиме линии токи нулевой последовательности протекают в земле, которая в режиме работы двух фаз является обратным проводом линии электропередачи. В таком режиме на ток в земле ( $3I_0$ ), равный геометрической сумме токов нагрузки двух фаз линии, реагируют защиты от замыкания на землю (токовая защита нулевой последовательности), которая может быть выполнена и направленной. Фильтровые токовые направленные защиты реагируют на продольную несимметрию (обрывы) в ВЛ точно так же, как и на поперечную (замыкания на землю), если место несимметрии находится в зоне срабатывания защиты. При обрыве фазы граница зоны срабатывания ступенчатой токовой направленной защиты нулевой последовательности данной ВЛ определяется [2] в соответствии с местом установки трансформаторов напряжения, к которым подключаются защиты линии. При установке трансформаторов напряжения на шинах подстанции в зону срабатывания попадают так же и обрывы фазы в коммутационной аппаратуре (выключателях и разъединителях) [3]. Защиты, установленные на разных концах линии, могут иметь различные уставки и чувствительность, поэтому в неполнофазном нагрузочном режиме работы линии, как правило, срабатывает защита только с одной стороны ВЛ. После отключения ВЛ с обрывом фазы с одной стороны исчезают условия для протекания токов нагрузки (токов нулевой последовательности) и, следовательно, условия для срабатывания защиты с другой стороны.

Второй признак позволяет выявить неполнофазный нагрузочный режим после отключения поврежденной радиальной линии. Если после включения под напряжение линия отключается релейной защитой не сразу, а после набора определенной нагрузки, это тоже может быть признаком обрыва фазы [4]. Неполнофазный нагрузочный режим при обрыве фазы в нормальной схеме радиальной линии возможен только при условии заземления нейтрали трансформатора(ов) на приемной подстанции, так как путь (обратный провод) для прохождения токов нулевой последовательности в случае обрыва фазы образуется только через заземленные нейтрали обмоток высокого напряжения трансформаторов.

## ДИАГНОСТИКА С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРОВ ОМП

Отечественные приборы для одностороннего ОМП и фиксации аварийных параметров успешно используются в энергосистемах для выявления обрыва фазы при их срабатывании на поврежденных ВЛ 110–220 кВ по известным фазовым соотношениям между током и напряжением в поврежденной фазе. В общем случае, если сравнивать модули токов, значение емкостного тока в поврежденной фазе  $I_{с.п}$  будет меньше значения емкостного тока в неповрежденной фазе  $I_{с.нп}$  на ненагруженной линии, включенной под напряжение в цикле успешного АПВ или РПВ:

$$I_{с.п} < I_{с.нп},$$

В случаях замыканий на землю с малыми токами, соизмеримыми с емкостными токами, углы сдвига фаз между токами и напряжениями близки к 0 эл. град. при одностороннем включении ВЛ под напряжение. По этому признаку при фиксации аварийных режимов мож-

но легко отличить обрывы от замыканий на землю через большие переходные сопротивления  $R_{\text{п}}$ , например, при замыкании фазы на землю через конструкции деревянной опоры, дерево и другие посторонние предметы, попавшие под ВЛ, а также в случаях обрыва гирлянды изоляторов и т.д. Таким образом, при выполнении условий пуска прибора ОМП, на основе векторной диаграммы аварийного режима, можно определить обрыв фазы. При обрыве фазы условия срабатывания приборов могут выполняться только в том случае, если неполнофазный режим сопровождается КЗ или протеканием больших токов нагрузки. От емкостных токов ОМП приборы, скорее всего, запуститься не смогут. Действительно, емкость нулевой последовательности трехфазной линии электропередачи можно приближенно принять как  $C_0 = (0,6-0,7)C_1$  – нижний предел для ВЛ 110 кВ и верхний предел для ВЛ 220 кВ [5]. Такие же соотношения будут выполняться между  $I_c$  на участке обрыва и  $3I_0$  холостой линии, включенной под напряжение. Самая чувствительная уставка пуска по  $I_0 = 0,25$  А, и если принять  $K_{\text{тт}} = 300/5$ , то утроенная составляющая  $3I_0$  емкостного тока линии должна быть  $3I_0 > 3 \cdot 0,25 \cdot 60 = 45$  А, чтобы прибор запустился. К примеру, это должна быть ВЛ 110 кВ длиной не менее 450 км и с обрывом фазы в начале линии ( $I_{\text{с.уд}} = 0,17$  А/км), что совсем нереально. Следовательно, приборы данного типа можно использовать для определения обрыва фазы путем измерения емкостных токов после аварийного отключения только в режиме мониторинга или тестера. Кроме того, чтобы диагностировать места обрыва фазы путем сравнения, надо измерять емкостные токи неповрежденных фаз, а это можно сделать только при одностороннем включении ненагруженной ВЛ в послеаварийном режиме, или использовать расчетные значения емкостных токов. Емкостный ток линий можно рассчитывать по формуле

$$I_c = \omega C_1 * U_{\text{ф.раб}} * l_{\text{линии}},$$

где  $C_1$  – емкость прямой последовательности ВЛ [5], Ф/км. Расчетные значения удельных емкостных токов ВЛ 110–220 кВ приведены в табл. 1 при

$$U_{\text{ф.раб}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}}.$$

Таблица 1

**Расчетные значения удельных емкостных токов ВЛ 110–220 кВ**

Номинальное напряжение линии, кВ	110	154	220
Емкостный ток*, А/км	0,17	0,24	0,34

\* Емкостные токи приводятся к рабочему напряжению линии путем умножения их табличных значений на поправочный коэффициент

$$K_U = \frac{U_{\text{раб}}}{U_{\text{ном}}}.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оперативный персонал энергообъекта с помощью микропроцессорных приборов в нормальном режиме может осуществлять пофазный мониторинг токов нагрузки линий электропередачи по текущим значениям тока. Выявление обрыва в рабочем режиме на ВЛ 110–220 кВ возможно только в случае незначительных нагрузок линии. При возрастании нагрузки линии при работе двумя фазами в неполнофазном нагрузочном режиме срабатывает релейная защита – токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю. В этом случае обрыв фазы можно будет определить по признакам срабатывания устройств защиты или путем пофазного измерения емкостных токов при одностороннем включении ВЛ под рабочее напряжение, на ХХ – в послеаварийном режиме.

### Список используемых источников

1. Индикатор микропроцессорный фиксирующий (для определения места повреждения) ИМФ-3Р: руководство по эксплуатации, паспорт. – М.: ЗАО «Радиус – Автоматика», 2017. – 10 с.
2. *Андреев А.М.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. – М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.
3. *Ластовкин В.Д.* Контактные системы выключателей 110–220 кВ. Диагностика неисправностей с помощью РЗА // *Новости ЭлектроТехники.* – 2008. – № 1(49). – С. 38–41.
4. *Трунковский Л.Е.* Контроль обрыва фаз // *Промышленная энергетика.* – 1983. – №7. – С. 24–27.
5. Руководящие указания по расчетам токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – М.: НЦ ЭНАС, 2013.

А.С. Гарагуля,  
кандидат техн. наук;

Р.А. Марынич

ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт химии  
и механики имени Д.И. Менделеева», г. Москва;

В.Ю. Соколов

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ЗА СЧЕТ ВОЗЛОЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ ДЕЖУРНЫХ РАСЧЕТОВ НА СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ**

Рассматриваются перспективы совершенствования эксплуатационно-технических характеристик командно-измерительных систем с целью уменьшения количества ошибок при выполнении сеансов управления космическим аппаратом. Осуществлен анализ деятельности операторов дежурных расчетов радиоэлектронных средств управления космическими аппаратами в ходе проведения сеансов управления. Приводится оценка эффективности применения автоматизированного проведения сеансов связи с космическим аппаратом без участия дежурных расчетов.

Ключевые слова: радиоэлектронная система управления космическими аппаратами, командно-измерительная система, дежурный расчет, автоматизация процессов управления.

Современный уровень развития техники создает необходимые предпосылки для качественного скачка в отечественной космической отрасли. Прогресс в области разработки и создания малых космических аппаратов (МКА) позволяет уже сегодня проектировать космические комплексы нового уровня. Вывод большого количества МКА на орбиту приведет к увеличению интенсивности задействования радиоэлектронных средств (РЭС) управления космическими аппаратами (КА) и обслуживающих их дежурных расчетов (ДР), что может повлечь за собой повышение вероятности возникновения нештатных ситуаций и снижение оперативности управления КА.

В качестве РЭС управления КА в настоящее время используются командно-измерительные системы (КИС), являющиеся основным классом РЭС наземных комплексов управления КА. КИС представляют собой совмещенные (многофункциональные) РЭС, предназначенные для комплексного решения задач, предусмотренных технологическими циклами управления КА. Радиоуправление КА осуществляется КИС в форме передачи по радиоканалу командно-программной информации (КПИ), состоящей в основном из команд и программ управления. Также КИС выполняют измерение текущих навигационных параметров КА, прием с КА телеметрической информации (ТМИ), сверку и коррекцию бортовой шкалы времени и некоторые другие функции информационного обмена с КА, что делает КИС системообразующим элементом наземных комплексов управления КА [1].

Существующие КИС, входящие в состав наземного автоматизированного комплекса управления, эксплуатируются ДР, каждый из которых состоит из начальника дежурного расчета и нескольких номеров дежурных, выполняющих функции операторов одной из функциональных подсистем КИС. Основной обязанностью ДР является деятельность по подготовке и проведению сеансов управления (СУ) КА, включающую в себя:

- получение плана СУ из центра управления КА;
- подготовку технических средств к проведению СУ;
- выдачу КПИ на КА;

- передачу в центр управления КА данных, полученных в ходе СУ: телеметрической и целевой информации (ТМИ и ЦИ), информации функционального контроля (ИФК);
- проведение операций сверки бортовых и наземных шкал времени;
- проведение траекторных измерений.

Результатом проведенного СУ может быть [2]:

1) выполненный СУ – сеанс, в ходе проведения которого объем работ выполнен полностью, полученная (выданная) информация пригодна для использования по целевому назначению и передана в установленные сроки без искажения;

2) сеанс управления с замечанием (СУЗ) – сеанс, в ходе выполнения которого были потери (искажения), задержки в выдаче информации, не выполнены отдельные режимы работы, но это не повлияло на выполнение целевых задач;

3) невыполненный СУ (НСУ) – сеанс, который не проведен, но не отменен, или в процессе его проведения были потери (искажения), задержки в выдаче информации, не выполнены отдельные режимы работы, что привело к перерывам в возможности использования КА по целевому назначению.

В работе [3] проведен анализ обобщенной статистики НСУ и СУЗ по вине личного состава ДР наземных автоматизированных комплексов управления (НАКУ) за 5 лет (рис. 1 и 2).

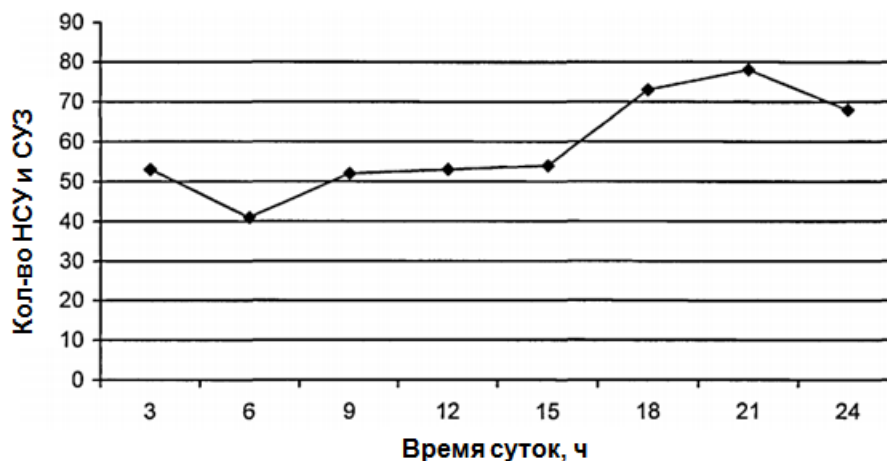


Рис. 1. Среднее количество НСУ и СУЗ в зависимости от времени суток

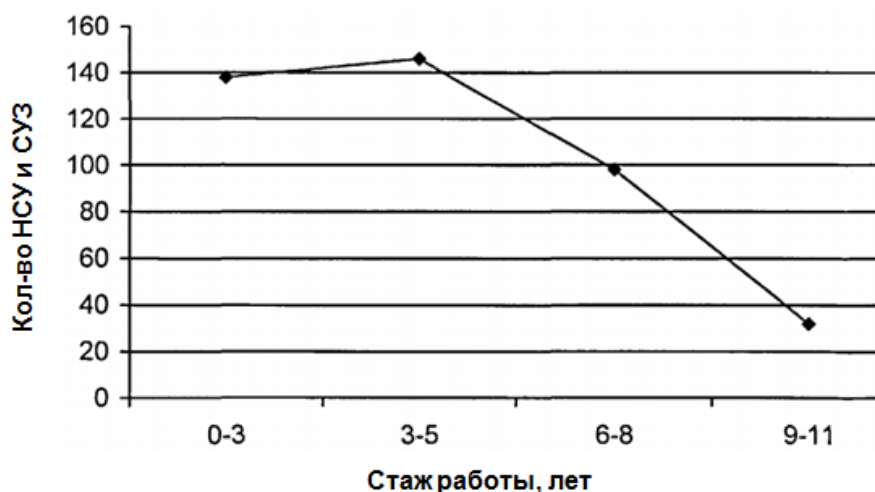


Рис. 2. Среднее количество НСУ и СУЗ в зависимости от стажа операторов ДР

В соответствии с вышеизложенным можно сделать вывод, что, несмотря на четкую организацию дежурства, поддержание высокой профессиональной и морально-психологической

подготовки личного состава и осуществление постоянного контроля за их деятельностью, количество НСУ и СУЗ зависят от времени суток и от стажа работы операторов.

С целью повышения эффективности применения КИС рассмотрим вариант проведения СУ без участия ДР таким образом, чтобы дистанционный контроль и управление всеми параметрами КИС производились операторами центра управления КА. Реализация данного варианта (рис. 3) возможна за счет внедрения в наземном комплексе управления (НКУ) совокупности программно-логических методов и соответствующих технических средств.

Совокупность программно-логических методов должна реализоваться в специальном программном обеспечении управления наземным средством (СПО УНС), устанавливаемым на вычислительных средствах КИС и СПО удаленного управления наземным средством (СПО УУНС), которые, в свою очередь, установлены на вычислительных средствах центра управления КА. СПО УНС, взаимодействуя с СПО УУНС по каналам системы связи и передачи данных в соответствии с собственным протоколом, позволит операторам центра управления КА проводить все необходимые процедуры для дистанционного управления бортовой аппаратурой КА, а также контролировать состояние оборудования КИС.

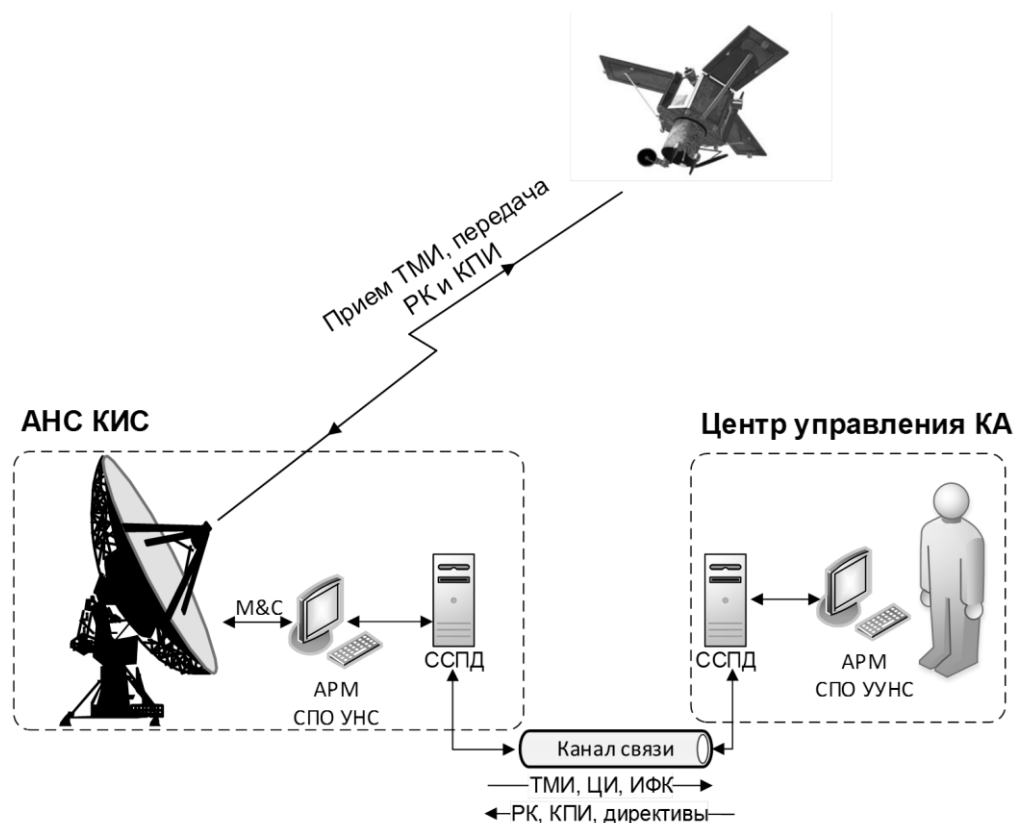


Рис. 3. Схема информационного обмена структурных элементов НАКУ

Технические средства КИС должны в максимальной степени поддерживать возможность удаленного контроля и управления. В настоящее время производители современного оборудования антенных систем [4–6] (преобразователи частоты, усилители мощности, блоки системы наведения антенн, демодуляторы, контроллеры резервирования и др.) по умолчанию поддерживают возможность удаленного контроля и управления M&C (monitor and control) по одному из распространенных интерфейсов: RS-232, RS-422, RS-485. Преобразование информации с данных интерфейсов в стек протоколов TCP/IP и обратно предоставляет возможность удаленного управления параметрами и режимами оборудования.



Таким образом, задачу повышения эффективности КИС за счет возложения функций дежурных расчетов на средства автоматизации предлагается решать как задачу синтеза автоматизированного наземного средства (АНС) КИС с такой совокупностью  $\langle Y', X' \rangle$  технических средств  $Y'$  и программно-логических методов  $X'$ , которая обеспечивает минимальную стоимость средств и методов [7] для достижения требуемой вероятности  $P_i^{\text{зад}}$  проведения СУ с КА при удовлетворении требований по затратам на реализацию  $C^{\text{зад}}$ . Следовательно,

$$\langle Y', X' \rangle = \min_{Y, X} \left( \sum_{j=1}^n c_j y_j + \sum_{k=1}^q c_k x_k \right) \quad (1)$$

$$Y = \{y_j\}, j = \overline{1, n}; X = \{x_k\}, k = \overline{1, q};$$

при ограничениях  $P_i^{\text{АНС КИС}}(Y, X) \geq P_i^{\text{зад}}, C(Y, X) \leq C^{\text{зад}}$ .

В данном выражении введены следующие обозначения:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-е техническое средство подходит для решения задачи;} \\ \tau, & \text{если } j\text{-е техническое средство резервируется } (\tau \{1, 2, \dots\}); \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$x_k$  – программно-логический метод, необходимый для реализации дистанционного проведения СУ;

$n$  – количество реализуемых технических средств для АНС КИС;

$q$  – количество программно-логических методов;

$c_j$  – заданная стоимость  $j$ -го технического средства;

$c_k$  – заданная стоимость реализации  $k$ -го программно-логического метода;

$P_i^{\text{зад}}$  – заданная вероятность выполнения задачи проведения  $i$ -го СУ (для современных КИС практическая вероятность выполнения задачи  $P_{\text{КИС}} \in [0.93, 0.95]$  [8]);

$C^{\text{зад}}$  – бюджет создания АНС КИС;

$P_i^{\text{АНС КИС}}(Y, X)$  – вероятность достоверного выполнения  $i$ -го СУ в условиях отказов и сбоев аппаратуры АНС КИС, ошибок ПО, несанкционированного вмешательства в процесс выполнения  $i$ -го СУ при варианте  $\langle Y, X \rangle$ , при этом

$$P_i^{\text{АНС КИС}} = P_i^{\text{АНС}} P_i^{\text{ПО АНС}} P_i^{\text{НВ АНС}}, \quad (2)$$

где  $P_i^{\text{АНС}}$  – вероятность того, что в момент проведения  $i$ -го СУ аппаратура системы АНС КИС будет работоспособна (не произойдет отказа или обнаруженного системой контроля сбоя);

$P_i^{\text{ПО АНС}}$  – вероятность того, что за время проведения  $i$ -го СУ в соответствующем ПО не возникнет ошибок, обусловленных надежностью общего или специального ПО;

$P_i^{\text{НВ АНС}}$  – вероятность того, что за время проведения  $i$ -го СУ не произойдет несанкционированного вмешательства (определяется методом экспертной оценки).

Для КИС вероятность достоверного выполнения  $i$ -го СУ определится по формуле

$$P_i^{\text{НС КИС}} = P_i^{\text{АНС}} P_i^{\text{ПО НС}} P_i^{\text{НВ НС}} P_i^{\text{ДР}},$$

где  $P_i^{ДР}$  – вероятность того, что за время проведения  $i$ -го СУ не произойдет ошибок со стороны ДР.

Очевидно, что за счет отсутствия в (2) множителя  $P_i^{ДР}$

$$P_i^{АНС\ КИС} > P_i^{НС\ КИС}.$$

Выигрыш  $c_w$  (в относительных единицах) от использования АНС КИС по сравнению с КИС определяется по формуле

$$C_w = C_{Ni} + (C_{обсл}^{НС\ КИС} - C_{обсл}^{АН\ СКИС}),$$

где  $C_{Ni}$  – стоимость потерь от недоиспользования КА по вине личного состава ДР при проведении  $i$ -го СУ;

$C_{обсл}^{НС\ КИС}$  – затраты на управление КИС;

$C_{обсл}^{АН\ СКИС}$  – затраты на управление АНС КИС.

**Выводы.** Весь комплекс задач по созданию КИС (как и других технических систем), очевидно, должен решаться с позиции наилучшей эффективности, что предусматривает постановку задач обеспечения заданных требований при минимуме затрат (финансовых, кадровых и др.) [9]. В данной работе представлены доводы, отражающие преимущества перераспределения функций ДР между центром управления КА и АНС КИС, а именно:

- повышение эффективности управления КА за счет устранения НСУ и СУЗ по вине личного состава ДР, несущего дежурство на КИС, и уменьшения стоимости потерь от недоиспользования КА;

- снижение затрат на управление автоматизированным наземным средством за счет уменьшения количества требуемого персонала;

- увеличение оперативности принятия решений за счет уменьшения времени реакции.

Также следует выделить трудности, с которыми можно столкнуться при создании АНС КИС:

- разработка и отладка сложного СПО могут занять значительное время. Имеет место сложность исправления ошибок в СПО после введения системы в эксплуатацию;

- персоналу в центре управления КА потребуется серьезная подготовка для работы с новым СПО;

- отсутствует отечественное оборудование по многим позициям.

Большинство разработчиков сложных систем сталкиваются с вышеуказанными трудностями, и они уже имеют соответствующий опыт разрешения проблем. Необходимо отметить, что коммерческие структуры спутниковой связи для работы с КА на геостационарной орбите уже используют земные станции в необслуживаемом варианте. Следовательно, в настоящее время имеется необходимый научно-технический потенциал для разработки АНС КИС.

### Список используемых источников

1. Основные направления унификации радиоэлектронных систем управления космическими аппаратами / А.В. Евтеев, А.С. Гарагуля, Г.Н. Мальцев, А.В. Харченко // Информация и космос. – 2016. – №1. – С.162–171.

2. 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.

3. *Благинин А.А.* Психофизиологическое обеспечение надежности профессиональной деятельности операторов сложных эргатических систем: дис. ... докт. психол. наук / Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина. – СПб., 2006. – 350 с.
4. Advantech Wireless. – URL: <http://www.advantechwireless.com/> (дата обращения: 20.02.2017).
5. ООО «Технологии Радиосвязи». – URL: <http://www.rc-tech.ru/> (дата обращения: 20.02.2017).
6. Zodiac Data System. – URL: <http://www.zodiacaerospace.com/> (дата обращения: 20.02.2017).
7. Конфликтно-устойчивые радиоэлектронные системы. Методы анализа и синтеза / под ред. С.В. Ягольников. – М.: Радиотехника, 2015. – 312 с.
8. *Полесский С.Н.* Метод оценки надежности наземно-космических радиотехнических систем при проектировании: дис. ... канд. техн. наук / Московский государственный институт электроники и математики (технический университет). – М., 2008. – 206 с.
9. *Кащеев Н.А.* Радиотехнические средства управления космическими аппаратами. – М.: Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), 2005. – 202 с.

А.Н. Горский,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Д.Л. Каргу,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
Д.А. Шубин

## ОБЩИЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ЦЕПЯХ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В настоящей работе раскрывается понятие «электромагнитная совместимость», описан общий подход к решению задач электромагнитной совместимости и рассмотрены методы проведения анализа электромагнитной совместимости в цепях системы электроснабжения космического аппарата.

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая система электроснабжения, электромагнитная совместимость, электромагнитная среда.

### ВВЕДЕНИЕ

Под электромагнитной совместимостью (ЭМС) технических средств понимают способность технических средств функционировать одновременно с требуемым качеством в реальных условиях эксплуатации при воздействии на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим электротехническим средствам. Обеспечение нормальной работы совместно функционирующих технических средств является целью ЭМС как научной проблемы. Предметом исследования можно считать определение источников электромагнитных помех, мешающих штатной работе рассматриваемых технических средств.

В качестве рассматриваемого объекта может быть выбрана система электроснабжения космического аппарата (СЭС КА). Помеха может попасть в КА различными способами, например через цепи питания от солнечных батарей, имеющих значительную площадь и находящихся в открытом космическом пространстве. Несмотря на то, что элементы электрооборудования КА могут находиться в одном гермоконтейнере, а цепи управления – в другом, между ними имеется кондуктивная связь, и помеха, попавшая в один из контейнеров, попадет и в другой. Если же электрооборудование и цепи управления находятся в одном гермоконтейнере, то к кондуктивной связи добавляется связь через поле.

В настоящей работе не рассматриваются особенности преднамеренных помех и способы их распространения. Рассматриваются только электрические и магнитные поля при сравнительно низких частотах (примерно до 100–300 кГц, в зависимости от размеров источников и приемников), когда в едином электромагнитном поле (ЭМП) можно выделить электрическую и магнитную составляющие, т. е. рассматривается квазистационарное электромагнитное поле [1].

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Электродвижущая сила (ЭДС), наводимая в любом замкнутом контуре, определяется выражением

$$e = \oint \vec{E} d\vec{\ell},$$

где  $\vec{E}$  – вектор напряженности электрического поля на любом элементе длины  $d\vec{\ell}$  контура. Напряженность электрического поля в энергетической зоне (части пространства, в котором пренебречь энергией электромагнитного поля нельзя) космического аппарата (КА) в общем случае имеет три составляющие:

1) электростатическую (электрическую) составляющую, обусловленную тем, что различные элементы электрооборудования, цепей управления, а также корпуса могут иметь разные потенциалы  $\varphi$ :

$$\vec{E}_{\text{эст}} = \frac{\partial \varphi}{\partial \vec{\ell}};$$

2) составляющую, обусловленную движением космического аппарата, пересекающего при своем движении различные космические поля и излучения. Эта составляющая напряженности электрического поля есть частное от деления второго слагаемого выражения для силы Лоренца, действующей на заряд  $Q$ , к величине этого заряда:

$$\vec{f} = Q\vec{E} + Q[\vec{v} \cdot \vec{B}];$$

$$\vec{E}_{\text{эл}} = \frac{\vec{f}}{Q} = [\vec{v} \cdot \vec{B}],$$

где  $\vec{v}$  – вектор скорости движения КА;

$\vec{B}$  – вектор магнитной индукции пересекаемого магнитного поля;

3) составляющую, индуцированную переменным магнитным полем (ЭДС магнитной индукции), наведенным в рассматриваемом месте магнитными полями других элементов электрооборудования:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \oint \vec{A} d\vec{\ell} = -\oint \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} d\vec{\ell} = \oint \vec{E}_{\text{мп}} d\vec{\ell},$$

где  $\vec{E}_{\text{мп}} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ ;

$\Phi$  – полный магнитный поток, пронизывающий контур;

$\vec{A}$  – векторный магнитный потенциал.

Окончательно имеем:

$$\vec{E}_{\Sigma} = -\text{grad}\varphi + [\vec{v} \cdot \vec{B}] - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\text{grad}\varphi + [\vec{v} \cdot \vec{B}] - \frac{\partial \Phi}{\partial t}.$$

Наводимые ЭДС и вызываемые ими токи могут внести преднамеренную помеху, вызывающую искажения в работе технических средств КА.

СЭС КА содержит сильноточное электрооборудование, являющееся источником как низкочастотных, в том числе постоянных, электрических и магнитных полей, так и электромагнитных полей широкого частотного спектра. Рядом с сильноточным электрооборудованием размещается и слаботочное: системы автоматики, информационные линии, блоки электроники и радиотехническое оборудование, которые в основном являются приемниками (рецепторами) электромагнитного поля. В ряде случаев один и тот же элемент электрооборудования может быть как источником поля, так и рецептором. В результате перекрестного влияния электромагнитных полей внутри КА создается электромагнитная среда, обладающая определенными электрической и магнитной напряженностями.

Такая электромагнитная среда может быть существенно скорректирована воздействием непреднамеренных и преднамеренных помех, которые могут воздействовать на рецепторы,

изменяя их параметры и режимы работы. Это воздействие осуществляется двумя способами: магнитной и электрической индукциями.

В первом случае воздействие помехи на рецептор можно рассматривать как связь между двумя электрическими цепями или в общем случае как связь между двумя электромагнитными системами, имеющими общее магнитное поле. Во втором случае воздействие помехи на рецептор можно рассматривать как связь между двумя электрическими системами, имеющими общее электрическое поле.

После расчета напряженностей ЭМП от каждого из элементов СЭС КА можно составить диаграммы напряженностей поля в каждой точке системы для различных режимов работы электрооборудования. Анализ таких диаграмм позволит выявить зоны с экстремальными напряженностями ЭМП. Размещение рецепторов осуществляют в зонах с минимальными напряженностями поля. Если напряженности ЭМП в этих зонах все-таки выше допустимых, применяют экранирование или специальные проектирование и размещение электрооборудования.

### АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СРЕДЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ КА

Анализ электромагнитной среды включает в себя оценку напряженностей электрического  $\vec{E}_j$  и магнитного  $\vec{H}_j$  полей на стадии проектирования и разработку необходимых мер по снижению их до нормативных величин. В процессе эксплуатации должен осуществляться систематический контроль напряженностей  $\vec{E}_j$  и  $\vec{H}_j$  в характерных точках энергетической зоны КА  $\vec{Q}_j$ .

Как правило, СЭС КА состоит из многих элементов, строгий учет полей которых весьма затруднителен и не всегда необходим. Не все источники равнозначны в создании результирующего электромагнитного поля помех. Поэтому вначале выявляются наиболее интенсивные источники ЭМП. Это можно сделать, учитывая их мощности, геометрические размеры и частотный диапазон. Затем производится расчет ЭМП отдельных источников в заданном диапазоне режимов работы. Аналитическими или численными методами определяются составляющие электрических и магнитных напряженностей ЭМП в окружающей источнике среде.

Аналитические методы позволяют определить напряженности электрического и магнитного полей и потенциалы в любой точке рассматриваемого пространства путем непосредственного решения уравнений Максвелла или уравнений Лапласа и Пуассона. При этом более простой путь решения задачи зависит от выбора системы координат и выбранного метода расчета. Основное достоинство аналитических методов заключается в том, что при заданной конфигурации системы заряженных тел их геометрические размеры и расстояния между ними могут быть различны. Различными также могут быть и интенсивности источников (заряды и токи). В настоящее время применяются приведенные ниже аналитические методы расчета.

*Метод участков*, в котором потенциал электрического и магнитного поля рассматриваемого объекта находится суммированием потенциалов от отдельных заряженных элементов этого объекта.

*Метод средних потенциалов* (метод Хоу), в котором действительное неравномерное распределение заряда по поверхности заменяется равномерным (но при этом потенциал распределяется по поверхности неодинаково).

*Метод разделения переменных* основан на представлении решения уравнения Лапласа, являющегося в общем случае функцией трех координат, в виде произведения функций, каждая из которых зависит только от одной координаты.

*Метод комплексного потенциала* (метод конформных отображений) заключается в преобразовании сложных форм граничных поверхностей в более простые, для которых решение может быть найдено относительно легко. Преобразование производится с помощью аппарата теории функций комплексного переменного.

*Метод зеркальных изображений* применяют в случаях, когда границами поля являются плоские или цилиндрические поверхности. В методе влияние границы на исследуемое поле заменяется влиянием дополнительной системы зарядов (или токов, в зависимости от рассматриваемой задачи). При этом место расположения зарядов (токов), их величина и характеристика среды определяются граничными условиями.

Аналитические расчеты выполняются на основе замены реальных источников математическими моделями: катушки, сферы, цилиндры, диполи, квадрупольные и др. Например, двухполюсные электрические машины создают внешние электромагнитные поля дипольного типа, четырехполюсные – квадрупольного типа и т. д.

Если источники разнесены на большие расстояния друг от друга, можно при расчете использовать метод наложения – суммировать поля от отдельных источников. Так как суммирование производится с векторными величинами, то практически складываются составляющие напряженностей по осям координат:

$$H_{q\beta} = \sum_i H_{q\beta}^{(i)}; \quad E_{q\beta} = \sum_i E_{q\beta}^{(i)}, \quad i \in [1, N] \quad (1)$$

Значения  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ , определяемые, например, через проекции на оси прямоугольной системы координат, вычисляются из выражений:

$$\vec{H} = \vec{i}H_x + \vec{j}H_y + \vec{k}H_z; \quad \vec{E} = \vec{i}E_x + \vec{j}E_y + \vec{k}E_z,$$

где  $H$  – составляющая магнитной напряженности суммарного поля по осям  $x, y, z$ ;

$E$  – составляющая электрической напряженности суммарного поля по осям  $x, y, z$ ;

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орты прямоугольной системы координат.

Численные методы в отличие от аналитических позволяют решить задачу при заданных интенсивностях источников и заданных геометрических размерах. Стоит изменить одну из заданных величин и нужно решать задачу снова. Целесообразнее применять методы, которые позволяли бы оценивать полученное решение, что дало бы возможность вносить изменения в исходные данные с целью получения наилучшего результата. Это должны быть комбинированные методы, позволяющие получить решение с помощью информационных технологий и в то же время дающие возможность оценить полученный результат и выявить имеющиеся закономерности, влияющие на конечный результат.

Примером применения такого метода является расчет поля по картине поля, построенной с помощью программного комплекса ELCUT. Картина полученного плоскопараллельного поля обладает наглядностью и универсальностью. В силу известной аналогии картина электрического поля может быть использована для расчета магнитного поля при их одинаковой конфигурации.

Выражения для электрического потенциала и напряженности электрического поля уединенного заряженного провода и тех же значений для электрического поля двух заряженных проводов приведены в табл. 1. Там же приведены значения магнитного потенциала и напряженности магнитного поля в магнитном поле постоянных токов для уединенного провода и поля двух проводов. Из таблицы видно, что указанные значения подобны. В выражениях,

приведенных в таблице, обозначено:  $\varphi$  – электрический потенциал;  $A$  – магнитный потенциал;  $\tau$  – линейная плотность заряда;  $I$  – величина постоянного тока;  $r$  – расстояние от центра провода до рассматриваемой точки;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость;  $\mu$  – магнитная проницаемость. В поле двух проводов:  $b$  – расстояние от второго провода до рассматриваемой точки;  $a$  – расстояние от первого провода до рассматриваемой точки;  $c$  – расстояние между проводами.

Таблица 1

### Электрический потенциал и напряженность электрического поля

Способ формирования поля	Электрическое поле	Магнитное поле
Поле уединенного провода	$\varphi = -\frac{\tau}{2\pi\varepsilon} \ln r + \text{const}$ $E = \frac{\tau}{2\pi r\varepsilon}$	$A = -\frac{\mu I}{2\pi} \ln r + \text{const}$ $H = \frac{I}{2\pi r}$
Поле двух проводов	$\varphi = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon} \ln \frac{b}{a}$ $E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon} \frac{c}{ab}$	$A = -\frac{\mu I}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$ $H = \frac{I}{2\pi} \frac{c}{ab}$

Сравнивая уравнение Пуассона для плоскопараллельного магнитного поля

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = -\mu J_z$$

с уравнением Пуассона для плоскопараллельного электрического поля

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon},$$

можно видеть, что при аналогичном распределении токов  $J_z(x, y)$  и зарядов  $\rho(x, y)$  решения будут аналогичны. Составляющие вектора магнитной индукции с учетом  $A_x = A_y = 0$  будут определяться как

$$B_x = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} = \frac{\partial A_z}{\partial y}; \quad B_y = \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} = -\frac{\partial A_z}{\partial x}; \quad B_z = 0.$$

Составляющие вектора напряженности электрического поля имеют вид:

$$E_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad E_z = 0.$$

Отсюда следует соответствие, приведенное в табл. 2.



Таблица 2

## Составляющие вектора напряженности

Электрическое поле	$\rho$	$\varphi$	$\varepsilon$	$\vec{E}$	$\vec{D}$	$\tau$	$C'$
Магнитное поле	$J_z$	$A_z$	$1/\mu$	$\vec{B}$	$\vec{H}$	$I$	$1/L'$

В табл. 2 значения  $C'$ ,  $L'$  – соответственно емкость и индуктивность на единицу длины;  $D$ ,  $B$  – соответственно значения вектора электрической и магнитной индукции. Линии векто-

ров  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  будут взаимно перпендикулярны, причем, так как  $B_x = \frac{\partial A_z}{\partial y}$ ;  $E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$  и

$B_y = -\frac{\partial A_z}{\partial x}$ ;  $E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$ , то на месте линий напряженности электрического поля будут ли-

нии равного магнитного потенциала  $\varphi_M$ , а на месте линий равного электрического потенциала будут линии магнитной индукции.

Определение напряженностей  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  результирующего электромагнитного поля в заданной области на основе уравнений Максвелла при наличии точных математических моделей, описывающих ЭМП каждого из источников, лежит в основе электродинамического метода, когда известна геометрия корпуса (блока), источников и их расположения, а также материалы, из которых они изготовлены. Существуют и другие методы анализа ЭМС. В частности, вероятностный метод эффективен при исследовании динамических режимов работы электротехнических комплексов, в том числе при коротких замыканиях, перенапряжениях от воздействия сторонних источников (электростатических разрядов, электромагнитного импульса и т. д.). Полученные этим методом результаты также используются для качественных оценок.

В ряде случаев более эффективным путем получения информации о величинах  $\vec{E}_j$  и  $\vec{H}_j$  в заданных точках  $\vec{Q}_j$  является метод физического моделирования. В этом методе корпус КА с размещенным электрооборудованием (исходная система – реальный объект) заменяется моделью (модельная система – вспомогательный объект), находящейся в определенном соответствии с оригиналом. При таком подходе к исследованию необходимо обеспечить определенные условия подобия. Добиться строгой пропорциональности геометрических характеристик оригинала и модели не всегда удастся. Особенно в тех случаях, когда оригиналы и модели для отдельных видов электрооборудования не являются геометрически подобными, в частности ограниченными разного рода геометрическими поверхностями. В таких случаях при переходе от оригинала к модели можно использовать теоремы сложения [2], с помощью которых учесть разницу в кривизне поверхности и оригинала.

Во многих случаях при замене оригинала моделью можно это делать приближенно: если размеры оригинала по всем координатным осям отличаются незначительно, целесообразно заменять их сферическими (прямоугольные, в форме куба, цилиндры, у которых  $D$  и  $L$  отличаются незначительно). Эквивалентная сферическая форма должна иметь примерно равный объем. Если размеры по двум координатным осям отличаются незначительно, а по третьей существенно их превышают, реальный объект можно заменить цилиндрической моделью. Расчеты ЭМП тел различной формы показывают, что возникающие из-за неровностей поверхностей неоднородности влияют на результирующее поле на расстояниях порядка геометрических размеров неоднородностей [3].

По мере приближения источников друг к другу при высоких частотах или кратковременных импульсах появляется необходимость учитывать их взаимное влияние (например, отра-

жения и переотражения ЭМП на соседних элементах). Согласно материалам [1] при  $L_{i-k} \in [10, \infty] 2\ell_{i,k}$  можно воспользоваться формулами (1), при  $L_{i-k} \in [5, 10] 2\ell_{i,k}$  использование (1) приводит к погрешности 5–15 %, при  $L_{i-k} \in [2, 5] 2\ell_{i,k}$  учет взаимовлияния, безусловно, необходим. Здесь  $L_{i-k}$  – расстояние между  $i$ -м и  $k$ -м источниками,  $2\ell_{i,k}$  – диаметр наименьшего выпуклого тела, описанного около  $i$ -го или  $k$ -го источника.

При необходимости учета взаимовлияний значения  $\vec{H}_j$  и  $\vec{E}_j$  определяются по формулам (1) с учетом коэффициентов взаимовлияния (К):

$$H_{q_\beta} = \sum_i K_{q_\beta(N-1)}^{SM(i)} H_{q_\beta}^i, \quad E_{q_\beta} = \sum_i K_{q_\beta(N-1)}^{SЭ(i)} E_{q_\beta}^i, \quad (2)$$

где  $H_{q_\beta}^{(i)}$ ,  $E_{q_\beta}^{(i)}$  – значения, вычисленные по формулам (1);

$K_{q_\beta(N-1)}^{SM(i)}$  – составляющая функции взаимовлияния по осям  $q_\beta$  для магнитной (М) напряженности, учитывающая влияние 1, 2 . . .  $N-1$  источников на поле  $i$ -го источника;

$K_{q_\beta(N-1)}^{SЭ(i)}$  – составляющая функций взаимовлияния по осям  $q_\beta$  для электрической (Э) напряженности, учитывающая влияние 1, 2 . . .  $N-1$  источников на поле  $i$ -го источника;

$S$  – вид поверхности (сфера, цилиндр и др.).

Таким образом, используя перечисленные выше методы, можно выполнить анализ ЭМС элементов СЭС в энергетической зоне КА и сформулировать исходные данные для защиты составных частей КА от электромагнитного воздействия.

Необходимо отметить, что для защиты технического объекта от воздействия электромагнитных полей применяют различные средства. Выбор способа или технического средства защиты определяется многими факторами: характером ЭМП, его частотным диапазоном, амплитудно-фазовыми характеристиками, гармоническим составом и т. д. Среди основных средств защиты можно отметить два: экранирование и рациональное размещение оборудования на внешних поверхностях и внутри корпуса КА.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий подход к решению задач электромагнитной совместимости в цепях СЭС КА заключается в следующем:

– выявляются основные причины (электромагнитные помехи), мешающие нормальной работе рассматриваемых цепей и элементов СЭС КА;

– описанными в работе методами выполняется определение напряженностей электрического и магнитного полей при постоянном или переменном синусоидальном токе (чтобы можно было использовать комплексный метод расчета амплитудных значений напряженностей и рассматривать только геометрию расположения источника и рецепторов), при этом считается, что среда, в которой рассчитывается электромагнитное поле, является линейной;

– частоты, для которых справедливо отдельное рассмотрение электрической и магнитной сторон электромагнитного поля в зависимости от размеров источников и рецепторов ЭМП находятся в пределах от нуля до нескольких сотен килогерц. После определения распределения электрического и магнитного полей в заданном пространстве можно уточнять значения характеристик ЭМП при импульсных и синусоидальных воздействиях, например методами, изложенными в [4];

– необходимо также учитывать особенности функционирования СЭС КА, влияющие на сложность расчета ЭМП: ограниченный объем гермоконтейнера и влияние контактных помех вследствие усиленных вибраций на этапе выведения.

### Список используемых источников

1. *Аполлонский С.М., Горский А.Н.* Расчеты электромагнитных полей: монография / под ред. А.Н. Горского. – М. Маршрут, 2006. – 992 с.
2. *Ерофеенко В.Т.* Теоремы сложения. – Минск: Наука и техника, 1989. – 118 с.
3. *Аполлонский С.М.* Внешние электромагнитные поля электрооборудования и средства их снижения. – СПб.: Безопасность, 2001. – 620 с.
4. *Русин Ю.С., Гликман И.Я., Горский А.Н.* Электромагнитные элементы радиоэлектронной аппаратуры: справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
5. ГОСТ Р 50397–2011. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 2012.

П.А. Грушковский

## АЛГОРИТМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ И ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ИНЕРЦИОННЫХ МАСС

Раскрываются вопросы использования параметров вибрационных процессов, полученных при диагностировании объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс. В качестве контролируемых параметров используются коэффициенты, полученные в результате разложения вибротраектории в частичную сумму ряда Фурье. Для их нахождения применяется метод численного интегрирования, а именно – формула прямоугольников. задается массив коэффициентов Фурье, который используется в качестве контролируемых параметров по разработанному алгоритму.

Ключевые слова: техническое состояние, контролируемый параметр, коэффициенты Фурье, нормированное наблюдаемое состояние, среднеквадратическая погрешность.

Определение технического состояния (ТС) системы холодоснабжения (СХС) объектов наземной инфраструктуры Воздушно-космических сил (ВКС) с высокой достоверностью является сложной задачей. Как известно, количественной характеристикой достоверности является вероятность корректного определения ТС. Величина заданной вероятности зависит от методов, которые будут использоваться в методике контроля и диагностирования СХС. При ее разработке необходимо учитывать следующие особенности СХС объектов наземной инфраструктуры ВКС:

- разнообразие физических принципов, заложенных в основу функционирования СХС;
- наличие объектов с вращательным или возвратно-поступательным движением инерционных масс (компрессоров, вентиляционных и насосных агрегатов);
- жесткие требования к достоверности определения ТС объекта (своевременно обнаруженные постепенные отказы могут привести к внезапным отказам и срыву выполнения поставленных задач).

Принимая во внимание данные особенности, следует понимать, что наиболее полное представление о ТС СХС дает комплексный подход к контролю и диагностированию. Помимо диагностирования по параметрам рабочих процессов целесообразно проводить вибрационное диагностирование объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс. Это вызвано тем, что параметры вибрационных процессов наиболее полно отражают техническое состояние данных объектов [1]. В ходе разработки методики задачи контроля и диагностирования необходимо сводить к классической задаче распознавания образов, при этом требуется параметры различных процессов представлять в едином виде, с помощью числовых векторов.

Траектория виброграммы, полученная при диагностировании, является ограниченной непрерывной функцией, которая может быть представлена с любой необходимой точностью в виде частичной суммы ряда [2]:

$$y = f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} d_k \varphi_k(t) \approx \sum_{k=1}^m d_k \varphi_k(t),$$

где  $c_k$  – коэффициенты разложения произвольного ряда;  
 $\varphi_k$  – базисная функция.

Известно, что наилучшую аппроксимацию функции дает частичная сумма ряда Фурье [3]:

$$\min_{d_k \in D} \left\{ \rho \left( f - \sum_{k=1}^m d_k \Phi_k \right) \right\} = \left( f - \sum_{k=1}^m c_k \Phi_k \right),$$

где  $d_k$  – коэффициенты произвольного разложения;

$c_k$  – коэффициенты разложения в частичную сумму ряда Фурье.

Таким образом, определенное количество коэффициентов при базисных функциях будут являться контролируемыми параметрами (КП) для объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс и будет описывать вибрационный процесс с заданной точностью. В случае, когда используется тригонометрический базис для разложения в ряды Фурье, коэффициенты Фурье определяются по формулам:

$$\begin{aligned} a_k &= \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos\left(\frac{2\pi k}{T} t\right) dt, \quad k=0,1,2,\dots; \\ b_k &= \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin\left(\frac{2\pi k}{T} t\right) dt, \quad k=1,2,\dots, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $T$  – область определения траектории (продолжительность диагностирования).

При графическом задании функции  $f(t)$  в виде виброграммы найти данные коэффициенты по формуле (1) не представляется возможным. Задача, возникшая в ходе исследования, состояла в отыскании соответствующего аналитического выражения для функции. Данная задача была решена применением одного из способов приближенного вычисления интегралов, а именно, посредством применения формулы прямоугольников [4]:

$$\begin{aligned} a_k &= \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f(t_i) \cos\left(\frac{2\pi k}{T} t_i\right), \quad k=0,1,2,\dots; \\ b_k &= \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} f(t_i) \sin\left(\frac{2\pi k}{T} t_i\right), \quad k=1,2,\dots \end{aligned}$$

Так как вибрация, возникающая при работе объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс, может быть представлена как периодический колебательный процесс, целесообразно в качестве времени диагностирования рассматривать период  $T$  колебания объекта [5]. По оси абсцисс рассматривается время ( $t$ , с), по оси ординат – значения полученных виброускорений ( $\omega$ , мм/с<sup>2</sup>) при применении акселерометров в качестве средств контроля и диагностирования.

Интервал  $T$  делится на  $n$  равных частей с помощью точек  $t_0 = 0, t_1, \dots, t_n = T, \Delta t = \frac{T}{n}$  (рис. 1).

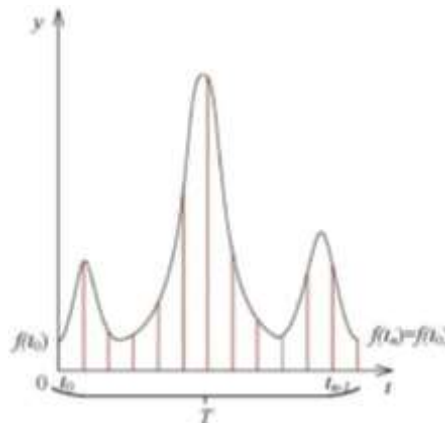


Рис. 1. Применение метода численного интегрирования для нахождения коэффициентов Фурье

Точность вычисления коэффициентов Фурье будет зависеть от количества частей  $n$ , на которые была разделена полученная виброграмма. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009 «Вибрационный контроль состояния машин» при построении временной функции сигнала необходимо, чтобы частота дискретизации  $\Delta t = \frac{T}{n}$  на порядок превышала максимальную частоту сигнала.

Далее необходимо задаться достаточным массивом коэффициентов Фурье, для того чтобы обеспечить необходимую результативность диагностирования.

Исходя из неравенства Бесселя:

$$\sum_{k=1}^n c_k^2 \leq \int_a^b f^2(x) dx,$$

где  $c_k$  – коэффициенты Фурье, становится очевидным, что каждый следующий коэффициент Фурье будет менее значим, чем предыдущий, и можно задаться довольно небольшим массивом коэффициентов для достаточно точного описания поведения вибротраектории.

На практике выявлено, что при измерениях виброграмм массив, состоящий из 21 коэффициента Фурье с погрешностью менее 0,1, характеризовал их форму. Поэтому данный массив будет приниматься в качестве КП. На его основе, а также используя КП, полученные при диагностировании по рабочим процессам, строится вектор нормированного наблюдаемого состояния.

Для каждого объекта с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс составляется свой перечень коэффициентов Фурье, из которых состоит вектор нормированного наблюдаемого состояния. В ходе исследования были построены указанные выше векторы для всех объектов этого класса. В качестве примера представлен вектор для насоса системы охлаждения типа 4К-18а:

$$Y_{\langle n \rangle} = Y_{\langle 22 \rangle} = (28,5; 0,7; -0,041; 0,011; -0,053; 0,041; -0,062; -0,083; -0,015; 0,043; 0,121; -0,001; 0,048; 0,066; 0,073; 0,001; 0,041; 0,078; 0,007; -0,042; 0,06; -0,001)^T. \quad (2)$$

Первая компонента вектора получена при диагностировании объекта по параметрам рабочих процессов, остальные являются коэффициентами Фурье.

Диагностирование объекта с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс заключается в постановке диагноза: работоспособен он (объект) или нет.

Относительно средних значений коэффициентов Фурье, полученных в ходе эксплуатации объектов, выделяются допустимые интервалы:

$$\Delta_i = [y_{0i}^H; y_{0i}^B], \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

для каждого коэффициента Фурье.

Для определения допустимых интервалов (3) изобразим на графике плотность распределения вероятности КП (рис. 2).

Доверительная вероятность  $P_d$  попадания КП в допустимый интервал будет определяться величиной этого интервала.

Если величину допустимого интервала  $\Delta_i = [y_{0i}^H; y_{0i}^B]$   $i = \overline{1, n}$  задавать через среднеквадратические отклонения  $\sigma_i$ , то для определения доверительной вероятности могут быть использованы табличные значения функции Лапласа [6].

Таким образом, доверительную вероятность можно рассматривать как методическую достоверность определения допустимых значений КП, а величина  $\delta_M = 1 - P_d$  рассматривается как составляющая методической погрешности [6].

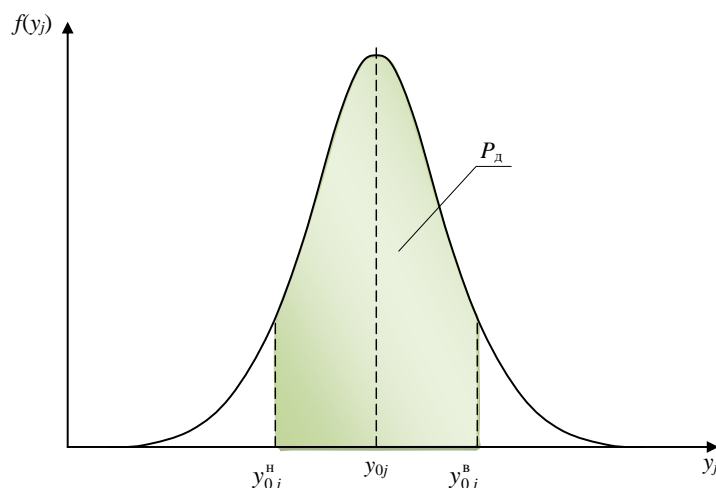


Рис. 2. Плотность распределения вероятности контролируемых параметров

Тогда объект диагностирования будет работоспособен, если каждая компонента вектора (2) находится в пределах работоспособного состояния:

$$\bigcap_{i=1}^{22} (y_i \in \Delta_i), \quad (4)$$

где  $\Delta_i$  – пределы работоспособного состояния для  $i$ -го КП,  $\Delta_i = [y_{0i}^H; y_{0i}^B]$ ,  $i = \overline{1, 22}$ .

Если любой из КП выходит за пределы работоспособного состояния, то такой объект признается неработоспособным, то есть

$$\exists y_i \notin \Delta_i.$$

Таким образом, процесс использования вибрационных параметров объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс будет состоять из следующих этапов:

- 1) получение данных в ходе вибрационного диагностирования;
- 2) вычисление массива коэффициентов Фурье методом численного интегрирования;
- 3) задание среднеквадратической погрешности;
- 4) определение среднеквадратических отклонений относительно средних значений коэффициентов Фурье;
- 5) определение границ допустимых интервалов для каждого коэффициента Фурье;
- 6) оценка попадания коэффициентов Фурье в допустимые интервалы;
- 7) определение работоспособности объекта на основании критерия (4).

На базе данного алгоритма должна быть разработана программа, позволяющая использовать параметры вибрационного сигнала, полученного при диагностировании объектов вращательного и возвратно-поступательного движения инерционных масс, для повышения вероятности правильного определения ТС СХС.

### Список используемых источников

1. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
2. Сеньченков В.И. Модели, методы и алгоритмы анализа технического состояния. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 377 с.

3. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: Физматлит, 2009. – 570 с.
4. Хэмминг Р.Р. Численные методы для научных работников и инженеров: пер. с англ. / под ред. Р.С. Гутера. – М.: Наука, 1972. – 400 с.
5. Йорши Ю.И. Виброметрия. – М., 1963. – 782 с.
6. Грушковский П.А., Некрасов И.Н., Буяков С.В. Математическое и методическое обеспечение контроля и диагностирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2014. – Вып. 644. – С. 52–57.



А.М. Дзитоёв,  
кандидат техн. наук;  
Е.В. Лаповок,  
кандидат техн. наук;  
С.И. Ханков,  
доктор техн. наук

## ХАРАКТЕРНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛИ, ФОРМИРУЮЩИЕ ЕЕ ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Проанализированы параметры, совокупность которых определяет удельные потоки излучения Земли в космическое пространство. Использование достоверных данных по мощности собственного теплового излучения Земли необходимо для проведения расчетов тепловых режимов космических аппаратов. Даны определения характерных температур. Показано, что на длительном историческом интервале возможно формальное использование в качестве параметра, определяющего излучаемые Землей тепловые потоки, эффективной температуры. На основе анализа характерных температур Земли определены величины эффективных степеней черноты планеты в целом, а также земной поверхности и атмосферы. Изложена методика расчетов удельных тепловых потоков излучения Земли в заданных спектральных диапазонах, в том числе в окне прозрачности атмосферы. Эти данные необходимы для задания мощностей потоков фонового излучения на входном зрачке криогенных телескопов инфракрасного диапазона. Показан существенный вклад в фоновое излучение Земли в пределах окна прозрачности от 8 до 13 мкм собственного теплового излучения атмосферы.

Ключевые слова: энергетический баланс космического аппарата на околоземной орбите, тепловое излучение Земли, эффективная температура Земли, планетарная температура, эффективная степень черноты Земли, эффективная степень черноты земной поверхности, эффективная степень черноты атмосферы.

### ВВЕДЕНИЕ

Расчеты тепловых режимов космических аппаратов (КА) составляют актуальную научную задачу и требуют разработки методов расчета нестационарных температурных полей КА применительно к конкретным условиям их движения в околоземном космическом пространстве (ОКП). Для этого необходимо точное задание исходных данных по поглощаемым элементами поверхности КА тепловых потоков излучения Солнца и Земли [1]. Известно, что падающие на поверхности КА удельные тепловые потоки от Земли определяются произведением уходящей с поверхности внешней границы атмосферы удельной мощности излучения на коэффициент облученности, зависящий от высоты орбиты и конфигурации КА [1]. Поэтому большое количество экспериментальных и теоретических исследований посвящены определению компонентов радиационного баланса Земли с учетом их изменчивости с течением времени [2–8]. Однако до настоящего времени не было дано достаточно строгое определение характерных температур, таких как эффективная и планетарная температура, а также не проводилось обоснование выбираемых параметров для описания полного энергетического баланса планеты.

Планеты, имеющие атмосферу и особенно океан с большой теплоемкостью (Земля, Венера), могут длительно (на большом историческом интервале) сохранять постоянные значения ряда тепловых параметров, не зависящих ни от времени года, ни от времени суток [9, 10]. К таким параметрам относятся излучаемые планетой тепловые потоки  $Q$  (Вт/м<sup>2</sup>) и характерные температуры. Оба типа параметров принимаются усредненными по всей поверхности планеты. При этом в течение весьма длительного периода (порядка десятилетий), несмотря на существующие малые вариации их значений [11–13], в практических расчетах могут приниматься их стационарные значения, соответствующие равновесному состоянию (поглощае-

мый Землей поток солнечного излучения равен потоку, излучаемому ею в космическое пространство).

Целью данных исследований являлось определение характерных температур и параметров Земли, которые формируют с одной стороны – климат Земли, а с другой – излучаемые ею в космическое пространство тепловые потоки, частично поглощаемые поверхностью КА, а также долговременные тенденции их изменения. При этом ставилась задача определения интегральных степеней черноты земной поверхности, атмосферы и эффективной степени черноты Земли как планеты в целом, а также требовалось получить описание алгоритма вычисления эффективных степеней черноты в заданном спектральном диапазоне, например в диапазоне, соответствующем окну прозрачности атмосферы в спектре теплового излучения земной поверхности.

### ХАРАКТЕРНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ

Излучаемый планетой удельный тепловой поток  $Q$  определяется из соотношения [14]

$$Q = 0,25(1 - A)E, \quad (1)$$

где  $A$  – альbedo Бонда планеты;

$E$  – солнечная постоянная, равная удельному потоку солнечного излучения, падающему на поверхность планеты в зависимости от ее расстояния до Солнца.

Для Земли  $A = 0,3$  и  $E = 1366 \text{ Вт/м}^2$ , откуда  $Q_e = 239 \text{ Вт/м}^2$ . Для Венеры  $A = 0,75$  и  $E = 2600 \text{ Вт/м}^2$  [14], в результате  $Q_v = 162,5 \text{ Вт/м}^2$ .

Потоки отраженного планетой солнечного излучения не связаны с характерными температурами и к тому же зависят от времени суток, поэтому они в дальнейшем не рассматривались.

К характерным температурам планеты относятся: эффективная, планетарная, а также средние значения температур океана и атмосферы.

Широко используется в качестве одного из показателей теплового состояния планеты понятие эффективной температуры [1, 15]. Она относится к классу псевдотемператур, фактически является радиационной среднеповерхностной температурой [16] и определяется по формуле следующего вида [1, 15]:

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{Q}{\sigma}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ .

После подстановки в (2) величин  $Q$  можно получить значения эффективных температур:  $T_e = 254,8 \text{ К}$  для Земли и  $T_e = 231 \text{ К}$  для Венеры. Между тем температура поверхности Венеры и прилегающего к ней слоя атмосферы, состоящей в основном из углекислого газа, равна примерно  $T_s = 735 \text{ К}$  [14]. Это не является следствием парникового эффекта, а вытекает из термодинамического уравнения газового состояния Менделеева – Клайперона, при том, что давление атмосферы Венеры у поверхности достигает 90 атм. [14].

В отличие от Венеры у Земли температуры поверхности (океана) и атмосферы определяются не термодинамическим состоянием, а энергетическим балансом и теплообменом между поверхностью, атмосферой и окружающим космическим пространством, разумеется, при значительном влиянии на температурные уровни атмосферы и океана поглощаемой ими части солнечной энергии.

Тепловой режим и климат Земли как планеты может быть охарактеризован тремя величинами абсолютной термодинамической температуры: планетарная температура  $T_p$ , осреднен-

ная по всей земной поверхности; температура, которая в основном характеризует температуру поверхностного (активного) слоя океана  $T_s$  и характерная температура атмосферы  $T_a$ .

Введение планетарной температуры  $T_p$  позволяет избежать неопределенности при нахождении приращений теплосодержания с учетом вариаций солнечной постоянной и альбедо Бонда Земли, что дает возможность исследовать колебания энергетического баланса и средней температуры (как раз планетарной) относительно равновесных уровней [11, 12].

Очевидно, что термодинамическая температура  $T_p$  должна выражаться через радиационную эффективную температуру с помощью соотношения

$$T_p = \varepsilon_e^{-0,25} T_e, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_e$  – эффективная степень черноты Земли как планеты.

Степень черноты  $\varepsilon_e$  Земли определяется степенью черноты подстилающей (океанической) поверхности  $\varepsilon_s$  и атмосферы  $\varepsilon_a$ , значения которых были ранее определены нами из уравнений энергетического баланса [9, 10] по известным его компонентам [4, 5]. Однако характер зависимости  $\varepsilon_e$  ( $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_a$ ) не исследовался.

Очевидно, что эффективная степень черноты Земли может быть получена из (3) по известной величине  $T_p$ , которая, в свою очередь, может быть определена одним из двух способов. Первый способ использует модель, в основе которой лежит допущение о малой разности средних температур океана и атмосферы. Это допущение хорошо выполняется ( $T_s - T_a = 2,75$  К при  $T_s = 287$  К) [9, 10]. В этом случае планетарная температура определяется по формуле, полученной в [9, 10], которую удобно привести к виду

$$T_p = T_e [\varepsilon_a (1 - b\gamma)]^{-0,25}; \quad b = \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_s}{\varepsilon_a} \delta, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – пропускание атмосферой теплового излучения земной поверхности в окне прозрачности;

$\delta$  – доля энергии в окне прозрачности 8–13 мкм от энергии в полном спектре теплового излучения земной поверхности при температуре, равной  $T_p$ .

При выводе (4) принято допущение  $\delta_s = \delta_a = \delta$ , вытекающее из ранее принятого допущения  $T_s \approx T_a \approx T_p$ . Здесь  $\delta_s$  и  $\delta_a$  – доли энергии при температурах  $T_s$  и  $T_a$ .

Из (3) и (4) вытекает следующее равенство:

$$\varepsilon_e = \varepsilon_a - (\varepsilon_a - \varepsilon_s) \delta \gamma. \quad (5)$$

Подставив в (5) значения всех параметров:  $\varepsilon_a = 0,7$ ;  $\varepsilon_s = 0,417$ ;  $\delta = 0,3$  и  $\gamma = 0,8$  [9, 10], получим  $\varepsilon_e = 0,632$  и  $T_p = 285,76$  К.

Второй способ определения  $\varepsilon_e$  основан на использовании допущения о равенстве расходных частей уравнений энергетического баланса, одна из которых выражена через  $T_p$ , а другая – через  $T_a$  и  $T_s$ . Используя ранее составленную систему уравнений теплового баланса земной поверхности и атмосферы [9, 10], можно получить следующую формулу:

$$T_p = T_s \left( \frac{\varepsilon_{ea} \theta + \varepsilon_{es}}{\varepsilon_{ea} + \varepsilon_{es}} \right)^{0,25}; \quad \theta = \left( \frac{T_a}{T_s} \right)^4; \quad \varepsilon_{ea} = (1 - \gamma \delta) \varepsilon_a; \quad \varepsilon_{es} = \gamma \delta \varepsilon_s, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_{ea}$ ,  $\varepsilon_{es}$  – соответственно эффективные степени черноты атмосферы и океана.

После подстановки тех же известных значений параметров, а также известных значений температур  $T_s = 287$  К и  $T_a = 284,25$  К и четвертой степени их отношения  $\theta = 0,9622$  получим  $\varepsilon_{ea} = 0,537$ ;  $\varepsilon_{es} = 0,1$  и  $T_p = 284,7$  К. Подставив последнее значение в (3), получим  $\varepsilon_e = 0,642$ .

Из проведенных оценок видно, что определенные двумя способами значения планетарной температуры отличаются всего на 1 К, а эффективные степени черноты различаются на 0,01

или на 1,5 %. Поэтому для практических расчетов можно рекомендовать средние значения этих параметров:  $T_p = 285,2$  К и  $\varepsilon_e = 0,637$ . Последнее значение с малой погрешностью равно сумме  $\varepsilon_{ea}$  и  $\varepsilon_{es}$ .

## ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФОНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЗЕМЛИ В ЗАДАННОМ СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ

Все вышеописанные параметры относятся к интегральному спектру инфракрасного (ИК) излучения. Удельные мощности интегральных потоков излучения Земли определяют полный энергетический баланс различного рода космических объектов (КО), в том числе КА и установленных на них различного рода оптических систем, например телескопов космического базирования. Для космических телескопов помимо задач определения их энергетического баланса и теплового режима актуально также вычисление фоновых засветок в рабочих спектральных диапазонах.

В телескопах ИК диапазона могут применяться фотоприемные устройства (ФПУ), чувствительные в заданном ИК поддиапазоне (например, 3–5 мкм, 6–10 мкм, 10–16 мкм). В этом случае важно вычислить мощности удельных потоков излучения Земли в тех же спектральных поддиапазонах. Для этого необходимо найти доли энергии, заключенные в конкретных спектральных поддиапазонах. Указанные доли энергии могут быть определены только на основе использования значения планетарной термодинамической температуры  $T_p$  или величин  $T_s$  и  $T_a$ , хотя для нахождения величины интегрального удельного потока излучения Земли  $Q$  достаточно использовать эффективную температуру  $T_e$ .

Заслуживает отдельного рассмотрения методика оценки суммарной фоновой засветки излучением земной поверхности и атмосферы в окне ее прозрачности 8–13 мкм. В данном спектральном диапазоне работают телескопы, предназначенные для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса.

Удельные мощности излучения поверхности Земли  $q_s$ , а также собственного теплового излучения атмосферы  $q_{aw}$  в окне ее прозрачности определяются из соотношений:

$$q_s = \varepsilon_{es} \sigma T_s^4; \quad q_{aw} = \varepsilon_{aw} \sigma T_a^4; \quad \varepsilon_{aw} = \delta(1 - \gamma) \varepsilon_a, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{aw}$  – эффективная степень черноты атмосферы в окне ее прозрачности при температуре  $T_a \approx T_p$ .

Суммарная мощность теплового излучения Земли в спектральном диапазоне, соответствующем окну прозрачности, может быть определена по формулам:

$$q_\Sigma = q_s + q_{aw} = \varepsilon_{ew} Q_p; \quad \varepsilon_{ew} = \delta[\gamma \varepsilon_s + (1 - \gamma) \varepsilon_a]; \quad Q_p = \sigma T_p^4, \quad (8)$$

где  $\varepsilon_{ew}$  – эффективная степень черноты планеты в спектральном диапазоне 8–13 мкм, соответствующем окну прозрачности атмосферы;

$Q_p$  – удельная мощность гипотетического излучаемого Землей потока при температуре на верхней границе ее атмосферы, равной  $T_p = 285,2$  К, при условном значении ее степени черноты  $\varepsilon = 1$ ,  $Q_p = 375$  Вт/м<sup>2</sup>.

Задавая значения, удовлетворяющие уравнениям энергетического баланса [9, 10], приведенным выше при вычислении эффективной степени черноты, получим  $\varepsilon_{ew} = 0,142$ . Подставив это значение, а также значение  $Q_p$  в (8), можно получить  $q_\Sigma = 53,25$  Вт/м<sup>2</sup>. Полученная из (7) величина удельного потока, излучаемого земной поверхностью через окно прозрачности в космическое пространство, равна  $q_s = 38,47$  Вт/м<sup>2</sup>. В результате самой атмосферой излучается в спектральном диапазоне 8–13 мкм тепловой поток, удельная мощность которого равна  $q_{aw} = q_\Sigma - q_s = 14,78$  Вт/м<sup>2</sup>, что составляет 38,4 % от величины  $q_s$ . Отсюда следует вывод о

необходимости учета удельной мощности излучения атмосферы при вычислении потоков, приходящих от Земли на входной зрачок телескопа в спектральном диапазоне, соответствующем окну прозрачности 8–13 мкм.

## АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

На основании проведенных исследований и анализа результатов можно дать определения характерных глобальных температур  $T_e$ ,  $T_p$ ,  $T_s$  и  $T_a$ , а также интегральных и спектральных степеней черноты.

**Эффективная температура планеты** – это радиационная температура, определяемая величиной усредненной по всей поверхности верхней границы ее атмосферы удельной мощности теплового излучения в космическое пространство, равной удельной мощности теплового излучения изотермического абсолютно черного излучателя с той же температурой.

Важно отметить следующие свойства и особенности эффективной температуры и области ее применения:

– эффективная температура может служить характеристикой только тех планет, которые имеют атмосферу, обеспечивающую сглаживание по поверхности и стабилизацию по времени планетарной температуры, дополнительно ее сглаживающие и стабилизирующие функции может обеспечивать океан, если он есть;

– эффективная температура планеты определяется только солнечной постоянной и глобальным альбедо (величиной альбедо Бонда планеты);

– эффективная температура планеты изменяется безынерционно при изменении двух определяющих параметров (солнечной постоянной и альбедо Бонда);

– эффективная температура не связана с теплосодержанием атмосферы и океана и не может служить однозначным и объективным показателем климата, что видно из проведенного анализа теплового состояния Венеры;

– эффективная температура может использоваться как формальный промежуточный параметр для расчетов интегральных удельных потоков излучения, падающих на поверхность КА в ОКП [1].

**Планетарная температура Земли** представляет собой термодинамическую температуру шарового слоя, состоящего из двух соприкасающихся сферических слоев – океана и атмосферы, при этом весь суммарный слой принимается изотермичным. Термическая инерция этого слоя определяется его суммарным теплосодержанием на единичную площадь поверхности и удельным тепловым потоком, отдаваемым излучением в космическое пространство, а теплосодержание определяется теплоемкостью атмосферы и активного слоя океана. Для Земли формально возможно представление планетарной температуры через эффективную температуру и эффективную степень черноты по формуле (3), что обусловлено близкими значениями  $T_s$  и  $T_a$ . Для планет с весьма большими неравномерностями распределения температур по высоте атмосферы, такими как у Венеры, само использование понятия планетарной температуры невозможно, как невозможно даже определение среднего значения температуры атмосферы.

**Термодинамическая температура земной поверхности** может быть определена как осредненная по всей поверхности земного шара температура сферического слоя океанической воды с толщиной, равной глубине активного слоя океана.

**Температура атмосферы Земли** определяется как средняя по всей поверхности, но не осредненная по высоте, а выделенная для гипотетического тончайшего характерного слоя (ТХС), расположенного на относительно небольшой высоте над поверхностью океана (по оценкам – до нескольких сотен метров). Этот ТХС определяется энергетическим балансом двухуровневой системы «океан – атмосфера» с учетом конвективного, испарительно-конденсационного и лучистого теплообмена между тонкими сферическими концентриче-

скими оболочками с окном прозрачности во внешней оболочке для излучения с поверхности внутренней оболочки.

**Эффективная интегральная степень черноты Земли** как планеты может быть представлена в виде суммы значений эффективных степеней черноты земной поверхности и атмосферы:  $\varepsilon_e = \varepsilon_{ea} + \varepsilon_{es}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ теплового состояния Земли и определение интегральных и спектральных излучаемых ею потоков становится достаточно простым и наглядным после вычисления основных параметров, формирующих ее излучательные характеристики. Такая относительная простота связана с возможностью представления Земли в виде тепловой схемы, содержащей три температурных уровня: средних температур земной поверхности и атмосферы, а также температуры космического пространства, принимаемой равной нулю по абсолютной шкале Кельвина. При этом атмосфера представляется в виде тонкого уровня с температурой, близкой к температуре океана.

В данной работе впервые изложена методика определения эффективных степеней черноты океана, атмосферы и Земли как планеты в целом и в интегральном, и в произвольных спектральных диапазонах, а также представлены их вычисленные значения.

Значительно усложняется анализ теплового состояния в случае рассмотрения планеты с существенной неравномерностью температурного поля атмосферы по высоте (как, например, на Венере). Для нее невозможно вычислить планетарную температуру, возможно только найти величину излучаемого с верхней границы атмосферы интегрального теплового потока, что, в свою очередь, позволит по крайней мере определить энергетический баланс КА вблизи зоны теплового влияния этой планеты.

## Список используемых источников

1. Баева Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитическая методика расчета тепловых потоков в околоземном космическом пространстве, формирующих тепловой режим космических телескопов // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 5. – С. 30–37.
2. Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ «Метеор-М» № 1. Аппаратура ИКОР-М / Ю.А. Складов, В.А. Воробьев, А.И. Котума, М.Ю. Червяков, В.М. Фейгин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 2. – С. 173–180.
3. Keihl J.T., Trenberth K.E. Earth's Annual Global Mean Energy Budget // Bull. of the Amer. Met. Soc. – 1997. – V. 78, № 2. – P. 197–208.
4. Trenberth K.E., Fasullo J.T., Keihl J.T. Earth's Global Energy Budget // Bull. of the Amer. Met. Soc. – 2009. – V. 90, № 3. – P. 311–323.
5. Trenberth K.E., Fasullo J.T. An apparent hiatus in global warming? // Earth's Future. – 2013. – V. 1, № 1. – P. 19–32.
6. Balmaseda M., Trenberth K., Kallen E. Distinctive climate signals in reanalysis of global ocean heat content // Geophysical Research Letters. – 2013. – V. 40, № 9. – P. 1754–1759.
7. Deser C., Phillips A.S., Alexander M.A., Smoliak B.V. Projecting North American Climate over the Next 50 Years: Uncertainty due to Internal Variability // Journal of Climate. – 2014. – V. 27, № 6. – P. 2271–2296.
8. Ramanathan V. The Role of Ocean-Atmosphere Interactions in the CO<sub>2</sub> Climate Problem // Jour. Atm. Sci. – 1981. – V. 38, № 5. – P. 918–930.

9. The Influence of the Atmospheric Transmission for the Solar Radiation and Earth's Surface Radiation on the Earth's Climate / H.I. Abdussamatov, A.I. Bogoyavlensky, S.I. Khankov, Y.V. Lapovok // *Journal of Geographic Information System*. – 2010. – № 2. – P. 194–200.

10. Modeling of the Earth's Planetary Heat Balance with Electrical Circuit Analogy / H.I. Abdussamatov, A.I. Bogoyavlensky, S.I. Khankov, Y.V. Lapovok // *J. Electromagnetic Analysis & Applications*. – 2010. – № 2. – P. 133–138.

11. *Abdussamatov H.I., Khankov S.I., Lapovok Y.V.* The Thermal Inertia Characteristics of the System Ocean-Atmosphere // *Journal of Geographic Information System*. – 2012. – № 4. – P. 479–482.

12. *Абдусаматов Х.И., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Периодические изменения энергетического баланса и криосферы Земли под действием долговременных вариаций солнечной постоянной // *Вестник международной академии холода*. – 2014. – № 3. – С. 41–44.

13. *Абдусаматов Х.И., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Тенденции и динамика нелинейных климатических изменений под действием долговременных вариаций солнечной постоянной и альбедо Бонда Земли // *Вестник международной академии холода*. – 2015. – № 3. – С. 79–82.

14. *Мороз В.И.* Атмосфера Венеры // *Успехи физических наук*. – 1971. – Т. 104, №. 2. – С. 255–296.

15. Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды / под ред. Г.И. Петрова. – М.: Машиностроение, 1971. – 382 с.

16. *Ландсберг Г.С.* Оптика. – 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с.

А.М. Дзитоев,  
кандидат техн. наук;  
С.И. Ханков,  
доктор техн. наук

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ YAG:Nd<sup>3+</sup> - ЛАЗЕРА НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 1,06 МКМ

Получены аналитические соотношения для расчета плотности мощности непрерывной генерации лазера на иттрий-алюминиевом гранате, активированном неодимом, с учетом влияния нагрева кристалла на величину коэффициента усиления. Предельный режим работы лазера, ограниченный ростом температуры, сопоставлен с предельной мощностью накачки, при достижении которой осуществляется срыв генерации вследствие сферической деформации резонатора, а также наступает механическое разрушение кристалла граната под действием возникающих в его объеме температурных напряжений. Исследовано влияние величины стоксовых потерь, интенсивности охлаждения и размера активного элемента на работу лазера. Показана возможность реализации непрерывного режима работы лазера на гранате при естественном охлаждении кристалла.

Ключевые слова: твердотельный лазер на гранате, кристалл YAG:Nd<sup>3+</sup>, температурная зависимость коэффициента усиления активной среды, сферическая деформация резонатора, температурные напряжения в активном элементе, прочность материала активного элемента.

Для обеспечения работы лазера в непрерывном режиме обычно используется жидкостное принудительное охлаждение активного элемента, ограничивающее его нагрев под действием стоксовых потерь [1–3]. Принудительное охлаждение хотя и не исключает полностью уменьшение коэффициента усиления в активной среде под действием нагрева, но позволяет обеспечить работу лазера в достаточно широком диапазоне изменения мощности накачки [4, 5]. Даже в мощных лазерах температурное уменьшение коэффициента усиления до настоящего времени не исследовалось, а основное внимание уделялось изучению термических эффектов, связанных с неравномерным по объему активной среды распределением температур [4–6]. Однако при использовании компактных, но малоэффективных систем охлаждения, которые в последнее время находят применение в лазерах непрерывного действия на иттрий-алюминиевом гранате (YAG), возникает необходимость учета влияния температуры на коэффициент усиления. Это относится в первую очередь к лазерам с воздушным и естественным [7], а также контактными [8, 9] охлаждением, но актуально и для лазеров с жидкостным охлаждением. Исследование влияния нагрева активного элемента на работу лазера необходимо для определения принципиальных ограничений, накладываемых условиями охлаждения на режимы работы лазера, а также для выбора параметров лазера, расширяющих его предельные возможности.

Методы расчета генерационных параметров лазеров [10–12] носят качественный характер и используются для весьма приближенных оценок, поскольку в них не могут быть заложены все исходные параметры конструкции, с достаточной степенью приближения описывающие характеристики системы оптической накачки и резонатора, реального распределения поглощенной энергии накачки по сечению активного элемента и других факторов. Поэтому с самого начала при разработке твердотельных лазеров широко использовались методы экспериментального макетирования [1, 2].

Важно отметить следующее обстоятельство. В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований были получены универсальные аналитические формулы, описывающие зависимости коэффициентов усиления, порогов генерации и относительного уменьшения энергии излучения лазеров на активных средах, активированных неодимом [13–



15] от температуры. В результате многократных экспериментальных проверок было подтверждено, что данные формулы с малой погрешностью описывают реальные зависимости относительной энергии излучения от температуры [16]. При этом показано, что зависимости универсальны как для импульсного, так и для непрерывного режима генерации.

В данной работе получены аналитические соотношения для расчета уменьшения плотности мощности непрерывной генерации лазера на YAG под действием нагрева активного элемента в процессе непрерывной оптической накачки, сопровождающейся неактивными стоксовыми потерями в кристалле YAG, а также оценены предельно достижимые режимы работы. Результаты расчета предельной мощности накачки, ограниченной только температурным уменьшением коэффициента усиления, сопоставлены с результатами оценки ограничений, накладываемых на режим работы термической деформацией резонатора, конечной прочностью активного элемента и другими факторами.

Формула для расчета плотности мощности излучения  $P_g$  лазера на четырехуровневой активной среде в режиме непрерывной генерации может быть представлена в виде [1, 2, 10, 12]

$$P_g = PK_r f(K); \quad f(K) = \frac{K - K_p}{K_p}; \quad P = \frac{E}{\tau}; \quad E = \frac{h\nu_g}{\sigma} L; \quad K_r = -\frac{1}{L} \ln \sqrt{r_m}; \quad K_p = K_r + \alpha_r, \quad (1)$$

где  $h$  – постоянная Планка;

$\nu_g$  – частота генерируемого излучения;

$\sigma$  – поперечное сечение генерационного перехода;

$L$  – длина активного элемента;

$K_r$  – коэффициент полезных потерь на излучение;

$r_m$  – коэффициент отражения выходного зеркала резонатора;

$\alpha_r$  – коэффициент неактивных потерь в резонаторе;

$\tau$  – постоянная времени затухания люминесценции;

$K$  – коэффициент усиления в активной среде;

$K_p$  – пороговое значение коэффициента усиления.

Параметр  $E$ , измеряемый в данном случае в Дж/см<sup>2</sup>, рассматривается как удельная запасенная энергия, соответственно  $P$  может рассматриваться как запасенная удельная мощность. Для YAG, излучающего на длине волны 1,06 мкм, при генерационном сечении  $\sigma = 36 \cdot 10^{-20}$  см<sup>2</sup> и при длине активного элемента 5 см удельная запасенная энергия равна  $E = 0,52$  Дж/см<sup>2</sup>. При  $\tau = 130$  мкс удельная запасенная мощность составляет  $P = 4$  кВт/см<sup>2</sup>. При диаметре активного элемента 5 мм величина запасенной энергии составляет 0,1 Дж и величина запасенной мощности 0,784 кВт.

Известно, что из входящих в формулу (1) параметров от температуры зависят поперечное сечение генерационного перехода (сечение генерации)  $\sigma$  и коэффициент усиления  $K$ . В начале опишем температурные зависимости параметров для общего случая четырехуровневых активных сред, таких как неодимовое стекло, YAG и калий-гадолиниевый вольфрамат.

Зависимость сечения генерации от температуры в общем случае может быть описана некоторой функцией  $f(\theta)$  [17]:

$$\sigma = \sigma_0 f(\theta); \quad \sigma_0 = \sigma(\theta = 0); \quad \theta = \frac{\vartheta}{T_0}; \quad \vartheta = T - T_0, \quad (2)$$

где  $\sigma_0$  – начальное значение сечения генерации;

$\theta$  – относительный перегрев активного элемента;

$\vartheta$  – перегрев активного элемента над окружающей средой;

$T$  – температура активного элемента;

$T_0$  – начальная температура,  $T_0 = 293K$ .

Формула, описывающая коэффициент усиления в активной среде с учетом роста ее температуры определяется из решения системы стационарных кинетических уравнений [13–16] и в общем случае может быть представлена в следующем виде:

$$K = \frac{f(\theta)}{1 + \frac{a}{\sigma_0 N_0} P_n} (a P_n - \sigma_0 N_0 b_{12}); \quad a = \frac{a_0}{1 + \gamma b_{34}}; \quad a_0 = \eta_1 \tau \sigma_0 N_0 m; \quad (3)$$

$$\gamma = \eta \frac{A_{41}}{A_{32}}; \quad \eta = \eta_1 \cdot \eta_2; \quad b_{12} = \exp\left(-\frac{\theta_{12} + b_0 \theta}{1 + \theta}\right); \quad b_0 = \frac{b}{k}; \quad b_{34} = \exp\left(-\frac{\theta_{34}}{1 + \theta}\right); \quad \theta_{ij} = \frac{\Delta E_{ij}}{k T_0},$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности между коэффициентом усиления и мощностью накачки на начальном пропорциональном участке зависимости;  
 $P_n$  – мощность накачки;  
 $N_0$  – концентрация активатора;  
 $a_0$  – начальное значение коэффициента пропорциональности;  
 $\gamma$  – безразмерный параметр, определяющий отклонение зависимости  $K(P_n)$  под действием роста температуры активной среды;  
 $b_{34}$  – больцмановский фактор уровня 4 по отношению к уровню 3;  
 $\eta_1$  – квантовый выход с полос накачки (уровня 4) на метастабильный уровень 3;  
 $\tau$  – постоянная времени затухания люминесценции в активной среде;  
 $m$  – коэффициент пропорциональности между скоростью возбуждения электронных уровней и мощностью накачки;  
 $\eta$  – квантовый выход люминесценции;  
 $\eta_2$  – квантовый выход с метастабильного уровня на нижний рабочий;  
 $A_{ij}$  – коэффициент Эйнштейна для переходов между уровнями  $i \rightarrow j$ ;  
 $b_{12}$  – больцмановский фактор нижнего рабочего уровня 2 по отношению к уровню основного состояния 1;  
 $\theta_{ij}$  – безразмерный параметр, определяющий отношение энергетического зазора между уровнями  $i$  и  $j$  к энергии электрона при температуре  $T_0$ ;  
 $b_0$  – относительный параметр, определяющий влияние штарковского расщепления уровня 2 на эффективную величину энергетического зазора между уровнями 1 и 2;  
 $b$  – коэффициент, учитывающий статистическую сумму штарковских компонент;  
 $k$  – постоянная Больцмана,  $b = 0,45 \text{ см}^{-1} \text{ К}^{-1}$ ;  
 $\Delta E_{ij}$  – энергетический зазор между уровнями  $i$  и  $j$ .

Для YAG с однородно уширенной линией люминесценции, задаваемой лоренцевым контуром, уменьшение величины  $\sigma$  обратно увеличению ширины линии люминесценции, что описывается формулой Фюхтбауэра – Ланденбурга [17], а температурная зависимость сечения генерации может быть представлена экспоненциальной зависимостью вида [17]

$$f(\theta) = \exp(-\xi\theta), \quad (4)$$

где  $\xi$  – эмпирический коэффициент.

Для иттрий-алюминиевого граната, активированного неодимом, все значения параметров, определяющих температурную зависимость коэффициента усиления и мощности излучения и входящих в формулы (3) и (4), равны [14–16]:  $b_0 = 0,647$ ;  $\xi = 0,6$  и  $\gamma = 0$ , откуда  $a = a_0$ . С учетом этого на основании (1)–(4) можно записать:

$$n_g = \frac{P_g(\theta)}{P_g(\theta=0)} = \frac{[n_p - n_0(b_{12} - b_{12}^0)] \exp(-\xi\theta) - A \exp(\xi\theta)}{n_p \exp(-\xi\theta_p) - A(\theta_p) \exp(\xi\theta_p)} \cdot \frac{A(\theta_p)}{A}; \quad (5)$$

$$b_{12}^0 = b_{12}(\theta = 0); \quad A = \exp(-\xi\theta) + \frac{n_p}{n_0}; \quad A(\theta_p) = \exp(-\xi\theta_p) + \frac{n_p}{n_0};$$

$$n_0 = \frac{K_m}{K_p}; \quad K_m = \sigma_0 N_0; \quad n_p = \frac{a_0 P_n}{K_p} = \frac{P_n}{P_p}; \quad \theta_p = \theta(n_p = 1),$$

где  $n_0$  – отношение так называемого предельного коэффициента усиления в четырех-уровневой среде  $K_m$  к пороговому значению коэффициента усиления  $K_p$ ;  
 $n_p$  – превышение мощности накачки  $P_n$  над ее пороговым значением  $P_p$ .

С помощью соотношения (5) можно описать зависимость мощности генерации от мощности накачки с учетом нагрева активного элемента. Эта зависимость при измерении мощности излучения в относительных единицах имеет вид

$$P_g = n_g \left( \frac{P_n}{P_p} - 1 \right). \quad (6)$$

Соотношения (5) и (6) позволяют исследовать изменение мощности генерации при равномерном по сечению нагреве активного элемента. В реальных условиях принудительного охлаждения активного элемента реализуется неравномерное по его объему распределение температур.

Параболическое распределение температур по радиусу активного элемента неизбежно ведет к изменению начального распределения коэффициента усиления по сечению. При равномерном начальном распределении коэффициента усиления после установления стационарного температурного профиля коэффициент усиления будет убывать от поверхности к центру активного элемента. В таких условиях соотношение для мощности генерации (1), справедливое для равномерного распределения коэффициента усиления по сечению активного элемента, приводит к значительным погрешностям. Исключение составляет случай низкой интенсивности охлаждения, когда  $Bi \ll 1$  и распределение температур близко к равномерному.

Необходимо провести оценки, которые позволят определить наиболее жесткие требования к интенсивности охлаждения. Для этого достаточно ограничиться рассмотрением условий генерации на оси активного элемента, где температура максимальна. В дальнейших расчетах использовалось соотношение для безразмерной температуры активного элемента на его оси [16, 18] вида

$$\theta = \theta_0 n_p \frac{2 + Bi}{Bi}; \quad \theta_0 = \frac{\chi P_p}{4\pi\lambda L T_0}; \quad Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}, \quad (7)$$

где  $\theta_0$  – относительный перегрев на оси активного элемента на пороге генерации;  
 $\chi$  – отношение мощности внутреннего тепловыделения к мощности накачки;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала активной среды;  
 $L$  – длина активного элемента;  
 $Bi$  – критерий Био, характеризующий интенсивность охлаждения;  
 $\alpha$  – коэффициент теплообмена на поверхности активного элемента;  
 $R$  – радиус активного элемента;  
 $r$  – цилиндрическая координата.

Для дальнейших расчетов целесообразно получить аналитическое выражение  $\chi$  через легко определяемые параметры. Представим  $\chi$  в виде  $\chi = \chi_1 \cdot \chi_2$ , где  $\chi_1$  – отношение поглощенной в активной среде мощности к мощности накачки;  $\chi_2$  – отношение мощности тепловыделения в активной среде к поглощенной мощности. Величины  $\chi_1$  и  $\chi_2$  можно оценить по следующим формулам:

$$\chi_1 = \frac{P_T}{P_n}; \quad \chi_2 = \frac{\nu_n - \nu_g}{\nu_n}, \quad (8)$$

где  $\nu_n$  – частота излучения накачки;  
 $\nu_g$  – частота генерируемого излучения.

Мощность поглощенного излучения  $P_T$  определяется из соотношения

$$P_T = h\nu_n V N_0 m P_n = \frac{h\nu_n}{\eta_1 \sigma_0 \tau} V a_0 P_n, \quad (9)$$

где  $V$  – объем активного элемента.

Из (8) и (9) можно получить

$$\chi_1 = \frac{h\nu_n}{\eta_1 \sigma_0 \tau} V a_0 = \frac{h\nu_n}{\eta_1 \sigma_0 \tau} V \frac{K_p}{P_p}. \quad (10)$$

Итоговая формула для коэффициента потерь будет иметь вид

$$\chi = \frac{\nu_n - \nu_g}{\nu_n} q \frac{V}{P_p}, \quad q = \frac{h\nu_n}{\eta_1 \sigma_0 \tau} K_p. \quad (11)$$

Минимальная величина  $\chi$  реализуется при накачке непосредственно в ближайшую полосу поглощения неодима (переход  ${}^4I_{9/2} - {}^4F_{5/2}$ ), тогда

$$\chi \cong 0,3q \frac{V}{P_n}. \quad (12)$$

Значения минимально возможной величины  $\chi$  в YAG при пороге генерации  $P_p \approx 500-1000$  Вт составляют 0,03. В реальных условиях накачка осуществляется в достаточно широком спектре, поэтому можно считать это значение минимально возможным.

Соотношения (5)–(7) составляют довольно простую методику оценки влияния нагрева активного элемента на мощность излучения. В дальнейших расчетах использовались следующие значения параметров:  $\theta_{12} = 9,67$ ,  $\theta_{34} = 4,43$ ,  $\sigma_0 N_0 = 41 \text{ см}^{-1}$ ,  $\lambda = 14 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$  [15–17]; величина  $K_n$  принята равной  $0,08 \text{ см}^{-1}$ , откуда  $n_0 = 512,5$ . Результаты расчета зависимости  $n_g$  от мощности накачки, проведенного с использованием указанных параметров для активного элемента  $\varnothing 5 \times 50$  мм, показаны на рис. 1, а, б.

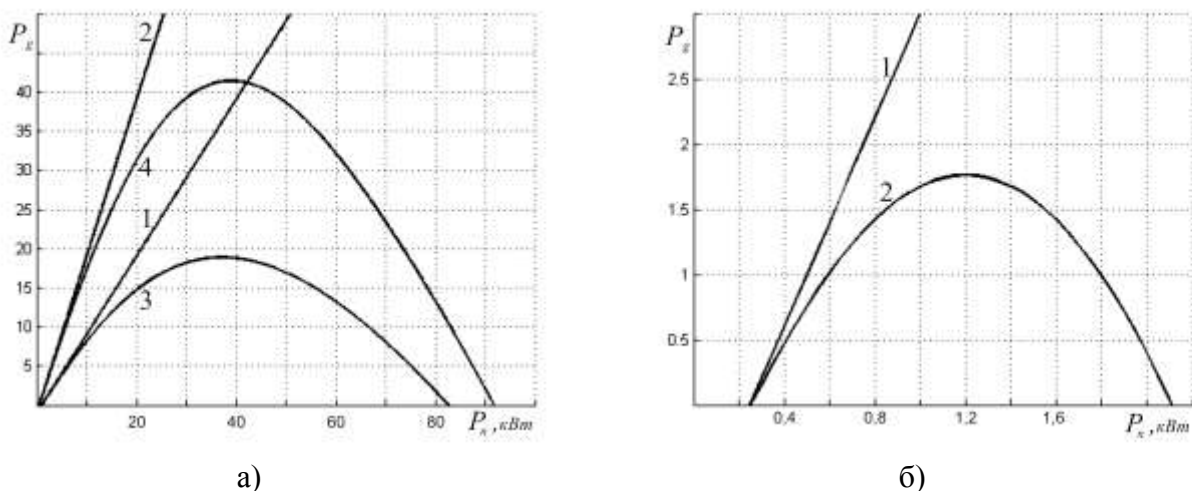


Рис. 1. Зависимости мощности генерации в относительных единицах от мощности накачки при коэффициенте теплоотдачи на боковой поверхности активного элемента диаметром 5 мм в охлаждающую жидкость с температурой 293 К  $\alpha = 10000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  (рис. 1, а) и  $\alpha = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  (рис. 1, б)

На рис. 1,а линии 1 и 2 построены без учета влияния нагрева активного элемента на мощность генерации, линии 3 и 4 – с учетом нагрева. Линии 1 и 3 соответствуют порогу генерации  $P_p = 1$  кВт, линии 2 и 4 –  $P_p = 0,5$  кВт. На рис. 1,б зависимости соответствуют пороговой мощности накачки  $P_p = 250$  Вт. Линия 1 построена без учета влияния нагрева активного элемента на мощность генерации, линия 2 – с учетом нагрева.

Как видно из рисунков, при больших величинах мощности накачки все зависимости значительно отличаются от линейных. Каждая зависимость имеет максимум, после которого дальнейшее увеличение накачки ведет к уменьшению мощности генерации. По данным рис. 1 можно сделать вывод, что снижение величины порога генерации  $P_n$  является эффективной мерой улучшения условий работы лазера. Отклонение зависимости  $P_g(P_n)$  от линейной при  $\theta = 0$  весьма мало. Нагрев оказывает влияние на генерацию еще на участке линейной зависимости  $K(P_n)$ , когда  $(\alpha_0 P_n)/(\sigma_0 N) \ll 1$ .

В заключение сопоставим ограничения, накладываемые на работу лазера нагревом кристалла, с ограничениями, накладываемыми другими факторами.

Прежде всего необходимо отметить, что предельная мощность накачки ограничена той допустимой мощностью, которая указана в паспортах на ксеноновые дуговые лампы с кварцевым корпусом типа ДНП. Эта предельно допустимая мощность равна 6 кВт. Сопоставляя эту величину с данными рис. 1, можно сделать вывод, что при достаточно интенсивном охлаждении активного элемента и лампы накачки предельная мощность накачки, ограниченная стойкостью лампы, достигается еще на линейном участке зависимости мощности излучения от мощности накачки. При низко интенсивном охлаждении, соответствующем или близком к естественному, ограничение по генерации достигается далеко до предела по лампе накачки.

Следующий фактор, ограничивающий предельные режимы работы лазера в непрерывном режиме, поддающийся простейшей оценке, это достижение такой величины мощности накачки, при которой происходит расплавление активного элемента. Температура плавления кристалла граната по разным данным составляет в среднем  $1970^\circ\text{C}$  или  $2240$  К. Для лазера с указанными параметрами при пороге генерации 1 кВт и коэффициенте теплоотдачи  $10000$  Вт/(м<sup>2</sup>К) такая температура на оси кристалла может быть достигнута при мощности накачки 240 кВт.

Следующее рассмотренное ограничение связано с термической деформацией резонатора. Параболическое распределение температуры в сечении активного элемента приводит к искажению резонатора, эквивалентному внесению в него положительной линзы, фокус которой можно оценить по формуле [18, 19]

$$F = \frac{2\pi R^2 \lambda}{\chi P_n W}, \quad (13)$$

где  $W$  – термооптическая постоянная активной среды, для YAG  $W = 140 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$  [17–19].

Оценку предельной мощности накачки можно провести, оценив величину  $F$ , при которой резонатор становится неустойчивым; используя данные работ [16–19], получим  $F = l/4$ , откуда

$$P_n^w = \frac{8\pi R^2 \lambda}{\chi l W}, \quad (14)$$

где  $l$  – длина резонатора.

Для YAG  $\varnothing 5 \times 50$  мм при  $\chi = 0,03$  и  $l = 30$  см величина  $P_n^w = 18$  кВт. Для случая  $l = 5$  см (зеркала на торцах активного элемента)  $P_n^w = 108$  кВт. Отсюда видно, что для плоского резонатора при  $l = 30$  см срыв генерации может наступить при такой мощности накачки, когда зависимость  $P_g(P_n)$  отклоняется под действием нагрева от линейной всего на  $\sim 20\%$  (рис. 1,а),

а может и не наступить при таких мощностях накачки, которые превышают предельное значение по уровню нагрева (рис. 1,б).

Дополнительное ограничение на мощность накачки накладывается конечной прочностью кристалла YAG. Перепад температур между осью кристалла и его поверхностью  $\Delta\vartheta = T_0\theta_0 n_p$  приводит к температурным напряжениям в кристалле. Предельную мощность накачки, ограниченную пределом прочности  $\sigma_n$ , можно оценить с использованием данных работ [16–19] выражением

$$P_n^\sigma = \frac{8\pi\lambda L}{\chi} \sigma_n \frac{1-\nu}{\alpha_T E}, \quad (15)$$

для YAG коэффициент линейного расширения  $\alpha_T = 7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , модуль Юнга  $E = 3 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ , коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ,  $\sigma_n = 1800 \text{ кг/см}^2$ . Предельные разрушения в YAG  $\varnothing 5 \times 50 \text{ мм}$  возникают при мощности накачки свыше 32 кВт.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика расчетов предельных режимов работы лазера на YAG непрерывного действия определяет область допустимых значений мощности накачки, при которых осуществляется непрерывная генерация лазера на длине волны 1,06 мкм без срыва генерации. Основу методики расчетов составляет выведенная на основе ранее полученных универсальных теоретических и эмпирических зависимостей формула для расчета относительного уменьшения генерируемой мощности под воздействием нагрева активного элемента при принудительном охлаждении его боковой поверхности. Указанное уменьшение генерируемой мощности под воздействием нагрева обусловлено уменьшением генерационного сечения кристалла YAG и ростом бальмановского заселения нижних рабочих уровней ионов неодима в YAG. Предельные режимы работы лазера на YAG, ограниченные уменьшением мощности излучения с ростом температуры, сопоставлены с другими факторами, ограничивающими допустимую мощность накачки.

В результате исследований получены следующие данные:

1. Зависимости мощности генерации от мощности накачки представляют собой линии с максимумом в некоторой области мощности накачки, при этом линии практически симметричны относительно этого максимума со спадом мощности излучения до нуля при некотором предельном значении мощности накачки.

2. Наименьшее влияние нагрева реализуется при превышениях над порогом в 3–6 раз, однако и в этих условиях нагрев уменьшает мощность генерации на 10–20 %.

3. Факторы, ограничивающие режим работы лазера непрерывного действия на YAG, можно перечислить с указанием примерных значений допустимой мощности накачки в следующем порядке по мере возрастания предельной мощности накачки:

– предельно допустимая мощность накачки до достижения максимальной мощности генерации  $P_1 = 1,2 \dots 40 \text{ кВт}$ ;

– предельно допустимая мощность накачки до срыва генерации под действием роста температуры активного элемента  $P_2 = 2 \dots 90 \text{ кВт}$ ;

– предельно допустимая потребляемая лампой накачки мощность  $P_3 = 6 \text{ кВт}$ ;

– предельная мощность накачки, ограниченная срывом генерации под действием термонаведенной сферической деформации резонатора,  $P_4 = 18 \dots 108 \text{ кВт}$ ;

– предельная мощность накачки до разрушения кристалла под действием температурных напряжений  $P_5 = 32 \text{ кВт}$ ;

– предельная мощность накачки, ограниченная нагревом кристалла до его расплавления,  $P_6 = 240$  кВт.

4. Для достаточно тонких кристаллов возможно обеспечение непрерывной генерации при слабо интенсивном воздушном, контактном и даже естественном теплоотводе.

Указанные значения предельных режимов лазеров на YAG являются ориентировочными, соответствующими определенным принятым значениям параметров. Однако изложенная в данной статье методика расчетов может использоваться для проведения оценок предельных режимов и ограничивающих факторов при различных значениях параметров и в зависимости от условий охлаждения активного элемента, его размеров и реализуемых коэффициентов усиления в кристалле, его пороговых значений, а также пороговой мощности генерации.

### Список используемых источников

1. *Микаэлян А.Л., Тер-Микаэлян М.Л., Турков Ю.Г.* Оптические генераторы на твердом теле. – М.: Сов. радио, 1967. – 384 с.
2. *Мак А.А., Ананьев Ю.А., Ермаков Б.А.* Твердотельные оптические квантовые генераторы // Успехи физических наук. – 1967. – Т. 92, № 7. – С. 373–426.
3. *Бадалян Г.А., Беренберг В.А., Ермаков Б.А.* Об оптимальном режиме работы импульсных лазеров на гранате в диапазоне частот повторения импульсов 1 кГц // Квантовая электроника. – 1979. – Т. 6, № 9. – С. 1921–1925.
4. *Дмитриев В.Г., Уманский Б.М., Шкунов В.В.* Термические напряжения в активных элементах в непрерывном режиме накачки // Квантовая электроника. – 1971. – № 2. – С. 80–86.
5. *Михалевич В.Г., Шипуло Г.П.* Характеристики мощного лазера на иттрий-алюминиевом гранате // Квантовая электроника. – 1974. – Т. 1, № 1. – С. 129–133.
6. *Храмов В.Ю., Чавкин И.В., Чавкина К.М.* Исследование термооптических неоднородностей в Yb-Er-стекле при диодной накачке // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 265–270.
7. Температурное поле активного элемента твердотельного ОКГ, работающего в периодическом режиме без принудительного охлаждения / И.Ф. Балашов, Б.Г. Березин, С.Ф. Давыдов, В.С. Кондратьев, С.И. Ханков // Известия вузов. Приборостроение. – 1978. – Т. 21, № 1. – С. 97–101.
8. *Barry J.D.* Space communications: Practical application of a visible Nd: YAG laser // Optics and Laser Thechnology. – 1977. – V. 9, № 5. – P. 207–216.
9. Исследование возможности контактного охлаждения активной среды лазеров на рубине / В.А. Алексеева, И.Ф. Балашов, Б.А. Ермаков, С.И. Ханков // Тезисы докладов на I Всесоюзной конференции «Оптика лазеров». – Л., 1976. – С. 36.
10. *Степанов Б.И., Грибковский В.П.* Применение вероятностного метода для расчета оптических характеристик квантовых генераторов света // Успехи физических наук. – 1964. – Т. 82, № 2. – С. 201–220.
11. Методы расчета оптических квантовых генераторов / под ред. Б.И. Степанова. – Минск: Наука и техника, 1966. – Т. 1. – 484 с.
12. Методы расчета оптических квантовых генераторов / под ред. Б.И. Степанова. – Минск: Наука и техника, 1968. – Т. 2. – 456 с.
13. *Алексеева В.А., Балашов И.Ф., Ханков С.И.* Температурная зависимость коэффициента усиления фосфатного неодимового стекла // Оптико-механическая промышленность. – 1982. – № 12. – С. 10–11.
14. Температурная зависимость энергетических параметров лазеров на иттрий-алюминиевом гранате, активированном ионами неодима / В.А. Алексеева, С.В. Гагарский, А.В. Лукин, М.Ю. Сибирев, С.И. Ханков // Оптические и лазерные технологии: сборник статей / под ред. В.Н. Васильева. – СПб.: ГИТМО (ТУ), 2000. – С. 59–64.

15. Температурная зависимость энергетических параметров лазеров на основе неодимсодержащих кристаллов / В.А. Алексеева, С.В. Гагарский, А.В. Лукин, М.Ю. Сибирев, С.И. Ханков // Научно-технический вестник. Квантовая электроника, волновая оптика и лазерные технологии. – 2001. – Вып. 4 (198). – С. 5–16.

16. Ханков С.И. Теоретические основы теплового проектирования теплонагруженных узлов оптико-электронных систем. – Малая оперативная полиграфия НТЦ им. Л.Т. Тучкова, 2002. – 182 с.

17. Каминский А.А. Лазерные кристаллы. – М.: Наука, 1975 – 256 с.

18. Алексеева В.А., Ханков С.И. Предельная частота повторения лазера на фосфатном неодимовом стекле // Журнал прикладной спектроскопии. – 1982. – Т. 36, № 4. – С. 568–574.

19. Дульнев Г.Н., Ермаков Б.А., Ханков С.И. Аналитический метод расчета тепловых процессов и их влияние на генерацию в твердотельном лазере с естественным охлаждением // Инженерно-физический журнал. – 1982. – Т. 42, № 2. – С. 307–313.



И.В. Захаров,  
кандидат техн. наук, доцент;  
А.В. Калюжный  
кандидат техн. наук;  
А.О. Шушаков

## МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Рассмотрен подход к обеспечению надежности и живучести вычислительных систем на основе функционального резервирования. Предложена модель, учитывающая ресурсно-временные характеристики целевых задач и ресурсно-временные состояния вычислительных модулей, позволяющая получить аналитические соотношения для оценивания живучести вычислительных систем, а также времени выполнения целевых задач в условиях деградации вычислительной структуры при реализации различных способов загрузки вычислительных модулей.

Ключевые слова: вычислительная система, функциональное резервирование, живучесть.

Современные достижения научно-технического прогресса в области разработки элементной базы, а также в развитии информационных технологий предопределили возможность создания мощных вычислительных комплексов и систем, интенсивно внедряемых во все сферы человеческой деятельности. Однако рост сложности решаемых ими задач, а также повышение требований к качеству их решения, обуславливают необходимость улучшения эксплуатационных показателей вычислительных систем (ВС), характеризующих их надежность и живучесть [1,2]. Одним из основных технических способов обеспечения надежности и живучести ВС в настоящее время является применение структурного резервирования [1], однако ресурсы вычислительных модулей (ВМ), входящих в состав ВС, при неполной рабочей нагрузке используются, как правило, нерационально. Обойти указанный недостаток позволяет реализация функционального резервирования за счет внедрения технологий параллельных вычислений, которые обеспечивают эффективное использование вычислительных ресурсов и гибкое управление ими, а также быстрое восстановление вычислительного процесса.

Рассмотрим модель распределения рабочей нагрузки. Реализация функционального резервирования может обеспечиваться посредством выполнения резервных копий заданий на одном или нескольких ВМ [5, 6], участвующих в параллельном вычислительном процессе (ПВП). Пример данного подхода для однородной системы, включающей  $N=3$  ВМ, параллельно выполняющих  $M=3$  целевых задания  $\{z_m, m = \overline{1, M}\}$  и их резервные копии  $\{z_m^*, m = \overline{1, M}\}$ , реализуя функциональное резервирование с кратностью  $k=2$ , показан на рис. 1. Следует учесть, что в связи ограниченностью вычислительных ресурсов ВМ реализация функциональной избыточности может повлечь увеличение времени выполнения целевых задач.

Определим временное смещение завершения  $m$ -го задания относительно номинального времени, возникающее при организации функционального резервирования, как функцию штрафа  $\delta_m$ :

$$t_m = t_m^0 + \delta_m. \quad (1)$$

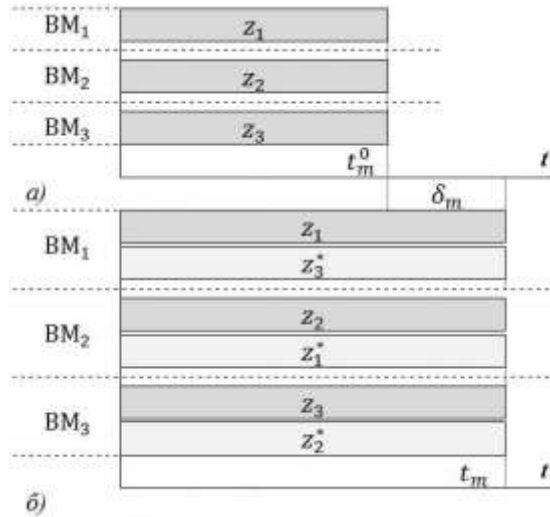


Рис. 1. Пример временной диаграммы ПВП для однородной ВС:  
 а – нерезервируемая ВС; б – резервируемая ВС

В реальности любая ВС, реализующая ПВП, является неоднородной. Во-первых, ВМ, входящие в состав ВС, как правило, имеют различные эксплуатационно-технические характеристики, которые определяются параметрами их аппаратных средств. Во-вторых, при реализации ПВП выполняемые одновременно задания, как правило, имеют различную ресурсоемкость, характеризуемую их системными требованиями. Это значительно усложняет высокоэффективное планирование ПВП при организации функционального резервирования. Рассмотрим пример неоднородной ВС, включающей  $N = 3$  ВМ, параллельно выполняющих  $M = 3$  целевых задания  $\{z_m, m = \overline{1, M}\}$  и их резервные копии  $\{z_m^*, m = \overline{1, M}\}$ , которая реализует функциональное резервирование с кратностью  $k = 2$  (рис. 2).

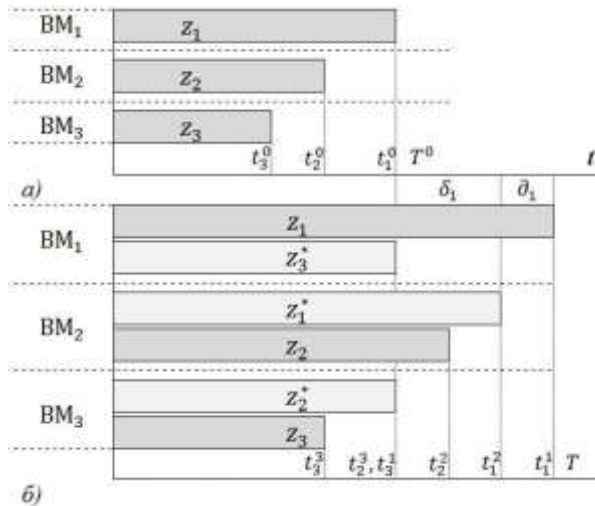


Рис. 2. Пример временной диаграммы ПВП для неоднородной ВС:  
 а – нерезервируемая; б – резервируемая

В данном случае для нерезервируемой ВС время  $T^0$  завершения ПВП определяется из соотношения

$$T^0 = \max_{m=\overline{1, M}} \{t_m^0\}. \quad (2)$$

При реализации функционального резервирования в неоднородной ВС время  $t_m$  выполнения  $m$ -го задания определяется из соотношения

$$t_m = \min_{i=1,k} \{t_m^i\}. \quad (3)$$

Учитывая (1), можно переписать выражение (3) в следующем виде:

$$t_m = \min_{i=1,k} \{t_m^0 + \delta_m^i\}. \quad (4)$$

Тогда с учетом соотношений (2) и (4) время  $T$  завершения ПВП в неоднородной резервируемой ВС можно записать как

$$T = \max_{m=1,M} \min_{i=1,k} \{t_m^0 + \delta_m^i\}. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что, несмотря на возможное увеличение времени завершения ПВП при организации функциональной избыточности, реализация рассматриваемого подхода позволяет обеспечить сокращение временных потерь  $\partial$ , обусловленных отказами или ухудшением технических характеристик аппаратных средств  $v$ , за счет оперативного переключения для вывода результатов выполнения заданий с исправных  $(N - v)$  ВМ. Применительно к рассмотренному примеру в случае отказа ВМ<sub>2</sub> вывод результатов выполнения задания  $z_1$  будет выполнен с ВМ<sub>1</sub>, при этом временные  $\partial$  потери составят:

$$\partial = \partial_1 = t_1^1 - t_1^2. \quad (6)$$

В соотношении (6) верхние индексы временных показателей определяют номера ВМ, выполняющих обработку копий первого задания.

В нерезервируемой ВС в случае отказа одного из ВМ потребуется повторный запуск невыполненного задания на исправном ВМ, что может привести к значительному увеличению времени завершения ПВП, особенно если алгоритм целевой задачи представляет собой частично упорядоченную последовательность. С учетом вышесказанного запишем выражение (5) в следующем виде:

$$T = \max_{m=1,M} \min_{i=1,k} \{t_m^0 + \delta_m^i(k) + \partial_m^i(v, k)\}. \quad (7)$$

Необходимо отметить, что увеличение кратности  $k$  резервирования (функциональной избыточности) в ВС приводит к возрастанию функции штрафа  $\delta_m^i$  и снижению временных потерь  $\partial_m^i$ , обусловленных отказами аппаратных средств и сбоями их программного обеспечения. Поэтому можно сделать вывод, что показатель качества функционирования ВС – время  $T$  завершения ПВП – зависит от входящих в выражение (7) величин  $\delta_m^i$  и  $\partial_m^i$ , так как время  $t_m^0$  выполнения  $m$ -го задания в данной ВС определяется только его ресурсоемкостью. Вместе с тем при исследовании свойств надежности и живучести использование времени  $T$  завершения ПВП в качестве единственного показателя не позволит получить однозначный ответ о качестве функционирования ВС, так как даже в одинаковых условиях, определяемых наличием (отсутствием) отказов ВМ и планированием ПВП, длительность выполнения задач различной ресурсоемкости будет отличаться.

В связи со сказанным целесообразно использовать нормированные или относительные показатели, к которым относится условная функция живучести  $G(T/v)$  [1, 4, 5]:

$$G(T/v) = \frac{T^0}{T} = \frac{\max_{m=1,M} \{t_m^0\}}{\max_{m=1,M} \min_{i=1,k} \{t_m^0 + \delta_m^i(k) + \partial_m^i(k, v)\}}. \quad (8)$$

Из анализа выражения (8) можно сделать вывод, что условная функция живучести  $G(T/v)$  принимает значения в диапазоне  $(0,1]$ . Если  $G = 1$ , то резервируемая ВС в условиях возникновения отказов завершает вычислительный процесс за номинальное время  $T = T^0$ .

Таким образом, для максимизации показателя условной функции живучести необходимо минимизировать значения функций штрафа  $\delta_m^i$  и временных потерь  $\partial_m^i$ , которые зависят от характеристик ВМ, входящих в ВС; характеристик задач, подлежащих решению в ВС, и организации планирования ПВП.

Для проведения имитационного моделирования определим характеристики ВМ и подлежащих решению задач:  $N$  – количество ВМ, входящих в ВС;  $r_j^{pr}$  – вычислительный ресурс  $j$ -го ВМ ( $j = \overline{1, N}$ );  $M$  – количество задач, подлежащих решению в ВС;  $r_m^0$  – вычислительный ресурс ВМ, требуемый для выполнения  $m$ -го задания за номинальное время ( $m = \overline{1, M}$ );  $t_m^0$  – номинальное время выполнения  $m$ -го задания (при условии предоставления вычислительного ресурса  $r_m^0$ ).

Организация планирования ПВП производится в четыре этапа в соответствии с критерием минимума времени выполнения целевых задач.

1. Выбор рационального значения показателя  $k^*$  кратности резервирования, необходимой и достаточной для выполнения целевых задач и реализации функциональной избыточности в условиях отказов ВМ.

2. Синтез рационального расписания  $\psi^*$  ПВП с учетом показателей  $r_j^{pr}$  вычислительного ресурса ВМ и ресурсно-временных характеристик  $\langle r_m^0, t_m^0 \rangle$  заданий, поступивших в обработку.

3. Выбор способа  $\xi^*$  распределения вычислительных ресурсов каждого ВМ между  $k^*$  параллельно выполняемыми на нем заданиями, определяемого множеством  $\{r_j^m\}_{N \times M}$  показателей, характеризующих долю вычислительного ресурса  $j$ -го ВМ, выделяемого для выполнения  $m$ -го задания (резервной копии). Если на  $j$ -м ВМ  $m$ -тое задание (резервная копия) не выполняется, то  $r_j^m = 0$ , в противном случае  $r_j^m = (0, 1]$ .

4. В случае отказа  $v$  ВМ выбор нового способа  $\xi^{**}$  распределения вычислительных ресурсов ВМ (перераспределение) и, при необходимости, синтез нового расписания  $\psi^{**}$  ПВП (перепланирование), обеспечивающих повышение условной функции  $G^*(T/v)$  живучести и сокращение времени  $T^*$  выполнения целевых задач за счет минимизации значений  $\{\partial_m\}$ .

Наибольшую сложность при исследовании живучести сложных систем вызывает формальное описание их деградации [4, 6], в частности потоков отказов их элементов. Один из способов упрощения данной проблемы – полагать их равновероятными. Однако, несмотря на относительную простоту такого решения, большинство оптимизационных задач системного анализа и в этом случае не будут иметь решений. Вместе с тем учет в разработанной модели показателей ресурсоемкости ВМ и ресурсно-временных характеристик задач, подлежащих выполнению, позволяет определить точные решения при планировании ПВП.

При проведении имитационного моделирования для ВС, состоящей из  $N = 5$  ВМ, решающей  $M = 5$  независимых задач, с количеством испытаний  $n = 1000$ , производился расчет значений математического ожидания условной функции живучести  $G(T/v)$  при отказе  $v = \overline{1, 4}$  ВМ для случаев реализации:

- резервирования с максимальной ( $k = N$ ) кратностью ( $G_{\max}$ );
- нерезервируемой ( $k = 1$ ) системы с возможностью перепланирования ПВП ( $G_{\min}$ );
- выбора рационального количества виртуальных машин, расписания и способа распределения рабочей нагрузки при организации резервирования ( $G^*$ ).

Зависимости значений математических ожиданий показателей функций  $G^*$ ,  $G_{\min}$  и  $G_{\max}$  от количества отказавших ВМ показаны на рис. 3.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о возможности использования предложенной модели для оценивания живучести ВС, функционирующей в условиях воздействия дестабилизирующих факторов [7], а также ее повышения посредством реализации функционального резервирования.

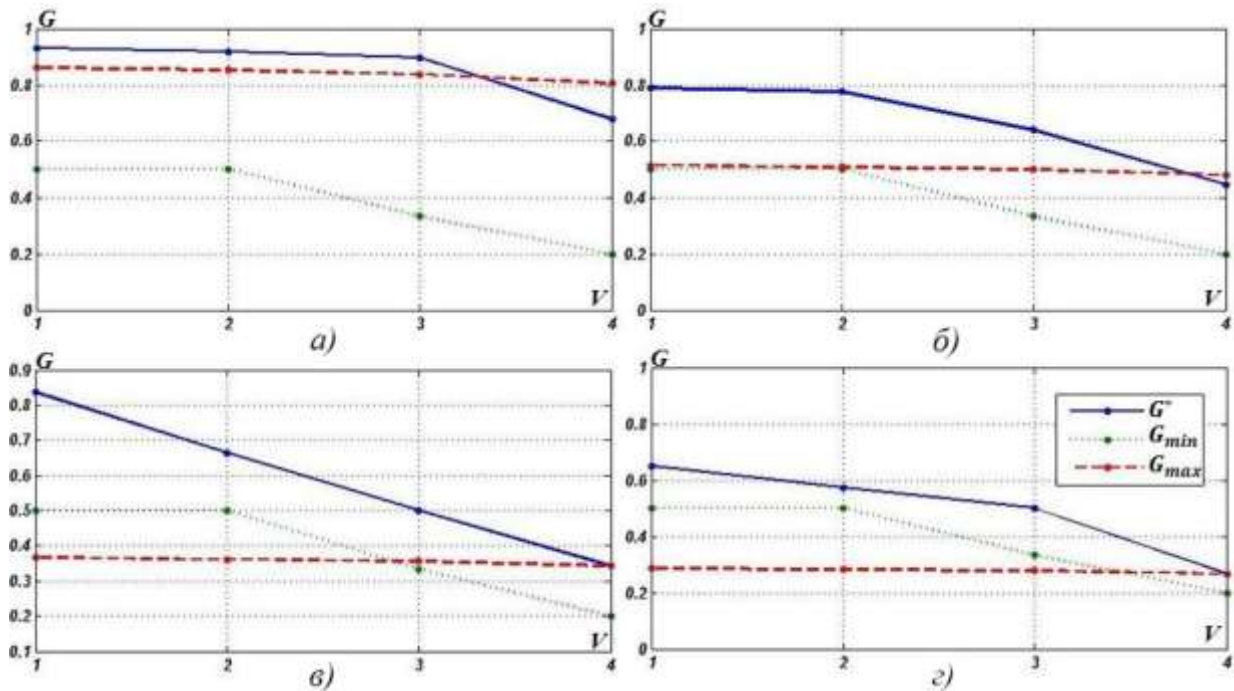


Рис. 3. Зависимости значений математических ожиданий показателей  $G^*$ ,  $G_{min}$  и  $G_{max}$  от количества  $v$  отказавших ВМ:

$a$  – при  $\sigma_{pr} = [0,15; 0,3)$ ;  $b$  – при  $\sigma_{pr} = [0,3; 0,45)$ ;

$v$  – при  $\sigma_{pr} = [0,45; 0,6)$ ;  $z$  – при  $\sigma_{pr} = [0,6; 0,75)$

( $\sigma_{pr}$  – среднее значение коэффициента загрузки ВМ,  $\sigma_{pr} = \frac{\sum_M r_m^0}{\sum_N r_j^{pr}}$ )

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении имитационного моделирования в среде *Matlab* поиск рациональных решений на этапах планирования ПВП, рассмотренных в работе, производился методом прямого перебора и не потребовал значительных временных затрат в силу преимуществ предложенной модели. В случае исследования сложных систем, включающих большее количество ВМ и решающих более сложные задачи, поиск оптимальных решений станет NP-полной задачей. Это говорит об актуальности исследований по выводу аналитических соотношений и разработке алгоритмических способов поиска оптимальных решений при планировании ПВП в условиях воздействия на ВС дестабилизирующих факторов.

## Список используемых источников

1. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
3. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 520 с.
4. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. – М.: Знание, 1987. – 32 с.

5. *Шушаков А.О.* Модель организации распределенных вычислений в условиях деградации вычислительной структуры // *Современные проблемы науки и образования.* – 2013. –

№ 5. – URL: <http://www.science-education.ru/111-10356> (дата обращения: 07.04.2016).

6. Модель распределенной обработки информации в условиях воздействия дестабилизирующих факторов на информационно-телекоммуникационную систему/ *В.В. Ширококов, А.Г. Басыров, А.С. Швецов, А.О. Шушаков* // *Современные проблемы науки и образования.* – 2015. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/122-20968> (дата обращения: 17.03.2016).

7. *Захаров И.В., Кремез Г.В.* Построение бортовых вычислительных систем с учетом результатов испытаний элементной базы в условиях космического пространства // *Научное обозрение.* – 2014. – Вып. 2. – С. 176–179.

А.В. Зубарев;  
В.В. Карагодин,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
К.А. Полянский

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКИХ ВОЙСК

Рассматривается подход к совершенствованию математической модели оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения (СБЭ) на базе статических источников бесперебойного питания, заключающийся в преобразовании целевой функции, в которой наряду с учетом капитальных затрат на построение СБЭ предлагается учитывать и расходы на ее эксплуатацию. Использование усовершенствованной математической модели позволит обеспечить более корректный выбор оптимального варианта построения СБЭ без усложнения алгоритма решения задачи.

Ключевые слова: оптимизация, система бесперебойного электроснабжения, ответственный потребитель, приведенные затраты.

### ВВЕДЕНИЕ

Ответственные потребители объектов Космических войск для своей нормальной работы требуют не только высокой надежности и бесперебойности электроснабжения, но и высокого качества электроэнергии во всех режимах работы. В настоящее время для обеспечения данных требований всё чаще стали использоваться системы бесперебойного электроснабжения, выполняемые на базе статических источников бесперебойного питания (ИБП). Очевидно, что при большой номенклатуре и широком ряде номинальных мощностей статических ИБП, возможности их резервирования, нелинейном характере зависимости стоимости данных устройств от их номинальной мощности для определения рационального структурного решения должна предусматриваться необходимость сравнения различных возможных вариантов построения систем по основным показателям эффективности, т. е. задача построения СБЭ на базе ИБП двойного преобразования может рассматриваться как оптимизационная задача по какому-либо одному или нескольким критериям [1].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для задачи оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей в [2, 3] разработана математическая модель, в которой в качестве критерия оптимальности был принят экономический критерий, а именно, капитальные затраты на построение СБЭ, которые равны суммарной стоимости источников бесперебойного питания (ИБП), входящих в ее состав:

$$K_i(X) = \sum_{j=1}^l c_j \left( \sum_{n=1}^m n x_{ijn} + \sum_{k=1}^{m-1} k x'_{ijk} \right) \rightarrow \min_{X \in D}, \quad (1)$$

где  $K_i(X)$  – капитальные затраты на построение СБЭ  $i$ -го ( $i \in 1, 2, \dots, g$ ) потребителя (группы), руб.;

$X$  – множество варьируемых переменных,  $X \in D$ ;

- $D$  – множество допустимых вариантов построения СБЭ;  
 $g$  – общее количество одиночных потребителей ( $h$ ) и отдельных групп потребителей ( $s$ ), шт.,  $g = h + s = 2^h - 1$ ;  
 $c_j$  – стоимость ИБП  $j$ -ой ( $j \in 1, 2, \dots, l$ ) номинальной мощности, руб.;  
 $l$  – номер ИБП максимальной номинальной мощности;  
 $m$  – максимальное количество ИБП, включаемых на параллельную работу, шт.;  
 $n$  – количество основных ИБП, шт.,  $n \in 1, 2, \dots, m$ ;  
 $x_{ijn}, x'_{ijk}$  – переменные,  $x_{ijn}, x'_{ijk} = \{0, 1\}$ :

$$\begin{aligned}
 x_{ijn} &= \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й потребитель (группа) запитан} \\ & \text{от группы из } n \text{ параллельно работающих} \\ & \text{основных ИБП } j\text{-й номинальной мощности;} \\ 0 & \text{– иначе;} \end{cases} \\
 x'_{ijk} &= \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й потребитель (группа) запитан} \\ & \text{от группы из } k \text{ параллельно работающих} \\ & \text{резервных ИБП } j\text{-й номинальной мощности;} \\ 0 & \text{– иначе.} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Множество допустимых вариантов построения формируется следующей системой ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^l \sum_{n=1}^m n S_j x_{ijn} \geq \frac{k_3 k_{c_i} P_{\text{ном}_i}}{\cos \varphi_i}; \\ \sum_{j=1}^l \sum_{n=1}^m x_{ijn} \leq 1; \\ \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^{m-1} x'_{ijk} \leq 1; \\ \sum_{n=1}^m x_{ijn} - \sum_{k=1}^{m-1} x'_{ijk} \geq 0; \\ (P_{\text{ибп}}^n - P_{\text{треб}_i}) \sum_{j=1}^l x_{ijn} + \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^{m-n} x'_{ijk} \Delta p_{n/k} \geq 0, \end{cases} \tag{3}$$

- где  $S_j$  – номинальная мощность  $j$ -го ИБП, кВА;  
 $k_{c_i}$  – коэффициент спроса  $i$ -го потребителя (группы), для одного электроприемника следует принимать равным 1;  
 $P_{\text{ном}_i}$  – установленная активная мощность  $i$ -го потребителя (группы), кВт;  
 $\cos \varphi_i$  – коэффициент мощности  $i$ -го потребителя (группы);  
 $k_3$  – коэффициент запаса,  $k_3 = 1, 1 \div 1, 2$ ;  
 $P_{\text{ибп}}$  – вероятность безотказной работы одного ИБП;  
 $P_{\text{треб}_i}$  – требуемая вероятность безотказной работы СБЭ для  $i$ -го потребителя;  
 $\Delta p_{n/k}$  – разность между вероятностью безотказной работы системы, состоящей из  $n$  основных и  $k$  резервных агрегатов, и вероятностью безотказной работы системы без резервных агрегатов,



$$\Delta p_{n/k} = \sum_{u=1}^{u=k} \frac{(n+k)!}{u!(n+k-u)!} (1-p_{\text{ибп}})^u p_{\text{ибп}}^{n+k-u}. \quad (4)$$

Данная математическая модель не учитывает расходов на эксплуатацию СБЭ, которые могут быть достаточно значительными. Для учета эксплуатационных расходов предлагается использовать в качестве критерия оптимальности не минимум капитальных вложений, а минимум приведенных годовых затрат [4, с.135]:

$$Z(X) = p_H K(X) + C(X) \rightarrow \min_{X \in D}, \quad (5)$$

где  $Z(X)$  – годовые приведенные затраты на СБЭ, руб./год;

$p_H$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, в энергетике  $p_H = 0,125$  1/год;

$K(X)$  – капитальные затраты на построение СБЭ, руб.;

$C(X)$  – годовые эксплуатационные затраты на СБЭ, руб./год.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

К годовым эксплуатационным затратам на СБЭ относятся все расходы, предусмотренные на поддержание системы в рабочем состоянии, а также годовая стоимость потерь электрической энергии в ее элементах [5]. В общем виде формула для расчета эксплуатационных затрат на СБЭ имеет вид:

$$C = C_A + C_{\text{ТО}} + C_{\text{П}} = C_P + C_{\text{КР}} + C_{\text{ТО}} + C_{\text{П}}, \quad (6)$$

где  $C_A$ ,  $C_P$ ,  $C_{\text{КР}}$ ,  $C_{\text{ТО}}$ ,  $C_{\text{П}}$  – годовые амортизационные затраты, затраты на реновацию, капитальный ремонт, техническое обслуживание, стоимость потерь электрической энергии соответственно.

Значения годовых амортизационных затрат и затрат на обслуживание СБЭ могут быть найдены как отчисления от капитальных затрат, тогда

$$C = (a_P + a_{\text{КР}} + a_{\text{ТО}})K + C_{\text{П}}. \quad (7)$$

Здесь  $a_P$ ,  $a_{\text{КР}}$ ,  $a_{\text{ТО}}$  – нормы годовых отчислений от капитальных вложений на реновацию, капитальный ремонт и техническое обслуживание СБЭ.

В результате целевая функция задачи оптимизации структуры СБЭ может быть записана в общем виде:

$$Z(X) = (p_H + a_P + a_{\text{КР}} + a_{\text{ТО}})K(X) + C_{\text{П}}(X) = p_{\Sigma}K(X) + C_{\text{П}}(X), \quad (8)$$

где  $p_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент отчислений, зависящих от объема капитальных вложений в СБЭ,  $p_{\Sigma} = 0,1925$  1/год [4].

Примем допущение о том, что потери электрической энергии в СБЭ равны сумме потерь в ИБП, входящих в ее состав, так как потери в остальных элементах СБЭ незначительны и почти не зависят от выбора варианта построения СБЭ. А поскольку на параллельную работу включаются ИБП только одинаковой номинальной мощности, а значит, нагрузка распределяется между ними равномерно, то стоимость потерь в СБЭ за год может быть вычислена по формуле

$$C_{\text{П}}^{\text{СБЭ}} = zC_{\text{П}}^{\text{ИБП}} = c_{\text{э}} T_{\text{год}} P_{\text{рас}} \left(1 - \frac{\eta}{100}\right), \quad (9)$$

где  $z$  – количество параллельно работающих ИБП на общую нагрузку, шт;  
 $C_{\text{П}}^{\text{ИБП}}$  – стоимость потерь электрической энергии в ИБП за год, руб./год;  
 $c_{\text{ээ}}$  – стоимость электрической энергии, руб./(кВт·ч);  
 $T_{\text{год}}$  – продолжительность года,  $T_{\text{год}}=8760$  ч.;  
 $P_{\text{рас}}$  – расчетная активная мощность общей нагрузки, кВт;  
 $\eta$  – коэффициент полезного действия ИБП, %.

Как правило, производители современных ИБП двойного преобразования заявляют, что коэффициент полезного действия (КПД) их устройств достигает значения 90–93%. На самом деле реальная эффективность ИБП гораздо ниже, так как данное значение КПД соответствует нагрузке, равной номинальной мощности агрегата, а в реальных системах, как правило, ИБП работают в недозагруженном режиме [6]. Недозагруженность возникает по целому ряду причин, основная из которых заключается в том, что для обеспечения высоких требований к надежности электроснабжения ответственных потребителей используется резервирование. К другим причинам можно отнести: дискретность ряда номинальных мощностей ИБП; запас мощности в расчете на дальнейшее развитие системы; запас мощности для обеспечения устойчивой работы ИБП. Использование в расчетах значения КПД при 100% загрузке может привести к недооценке потерь электрической энергии. Поэтому возникает необходимость рассмотрения КПД ИБП  $\eta$  как функции от степени его загруженности, которая определяется значением показателя загрузки  $k_{\text{заг}}$ . Значения  $\eta$  для различных значений  $k_{\text{заг}}$  определяются экспериментально и приводятся в виде таблицы в техническом описании к конкретной модели ИБП. Для исследования характера этой зависимости используем данные для типового ИБП, приведенные в табл. 1 [7]. График, построенный по экспериментальным данным, показан на рис. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные для типового ИБП

$\eta, \%$	0	60	75	80	84	86	88	89	90	90	91
$k_{\text{заг}}, \%$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

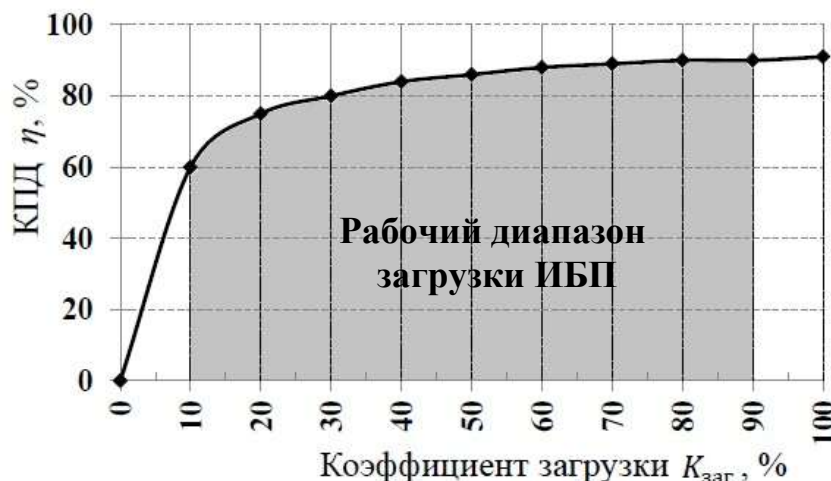


Рис. 1. График зависимости КПД типового ИБП от его загруженности

Коэффициент загрузки ИБП определяется его номинальной мощностью и количеством параллельно работающих агрегатов на общую нагрузку. С учетом принятых обозначений и переменных можно записать выражение для определения значения коэффициента загрузки:

$$k_{\text{заг}_i} = \frac{100S_{\text{рас}_i}}{zS_{\text{ном}}^{\text{ИБП}}} = \frac{100k_{c_i} P_{\text{ном}_i}}{\cos \varphi_i \sum_{j=1}^l S_j \left( \sum_{n=1}^m nx_{ijn} + \sum_{k=1}^{m-1} kx'_{ijk} \right)}, \quad (10)$$

где  $k_{\text{заг}_i}$  – коэффициент загрузки ИБП  $i$ -го потребителя (группы), %;

$S_{\text{рас}_i}$  – расчетная полная мощность  $i$ -го потребителя (группы), кВА;

$S_{\text{ном}}^{\text{ИБП}}$  – номинальная мощность каждого из параллельно работающих ИБП.

Для исследования зависимости (10) проведем аппроксимацию функции  $\eta = f(k_{\text{заг}}^{-1})$ . Для этого построим уравнение регрессии. Так как в реальных СБЭ, как правило, значение коэффициента загрузки каждого ИБП составляет от 10% до 90% (см. рис. 1), то достаточно будет определить функцию регрессии при  $k_{\text{заг}}^{-1} \in [0,01; 0,1]$ .

Полиномиальная функция регрессии рассматриваемой зависимости может быть записана следующим образом:

$$\eta(k_{\text{заг}}^{-1}) = k_0 f_0(k_{\text{заг}}^{-1}) + k_1 f_1(k_{\text{заг}}^{-1}) + \dots + k_n f_n(k_{\text{заг}}^{-1}), \quad (11)$$

где  $f_0(k_{\text{заг}}^{-1}) = k_{\text{заг}}^{-n}$ ;

$f_1(k_{\text{заг}}^{-1}) = k_{\text{заг}}^{1-n}$ ;

$f_n(k_{\text{заг}}^{-1}) = 1$ ;

$n$  – степень полинома.

Предположим, что экспериментальным данным соответствует полином первой степени ( $n=1$ ), то есть функция регрессии имеет линейный вид. Используя метод наименьших квадратов [8], получено следующее уравнение регрессии (рис. 2):

$$\tilde{\eta}(k_{\text{заг}}^{-1}) = k_0 k_{\text{заг}}^{-1} + k_1 = -341,8k_{\text{заг}}^{-1} + 93,19. \quad (12)$$

Проверка соответствия выбранного класса функции регрессии экспериментальным данным, т. е. адекватность полученного уравнения регрессии (12) выполнена по критерию Фишера. В соответствии с данным критерием правильность гипотезы подтверждается выполнением следующего неравенства [8]:

$$F = \frac{\tilde{\sigma}^2}{\tilde{\sigma}_1^2} > F_{(\alpha; f_1; f_2)}, \quad (13)$$

где  $F$  – вычисленное значение показателя согласованности гипотезы;

$\tilde{\sigma}^2$  – оценка дисперсии выходной переменной;

$\tilde{\sigma}_1^2$  – оценка остаточной дисперсии;

$F_{(\alpha; f_1; f_2)}$  – критическое значение показателя согласованности при уровне значимости  $\alpha$  и степенях свободы  $f_1$  и  $f_2$ .

Вычисленное значение показателя согласованности  $F = 81,6$ ; при этом его критическое значение  $F_{(0,001;7;6)} = 14,63$ . Очевидно, что неравенство  $F \geq F_{(0,001;7;6)}$  выполняется и, следовательно, гипотеза о том, что исходным данным соответствует линейный вид функции регрессии, принимается.

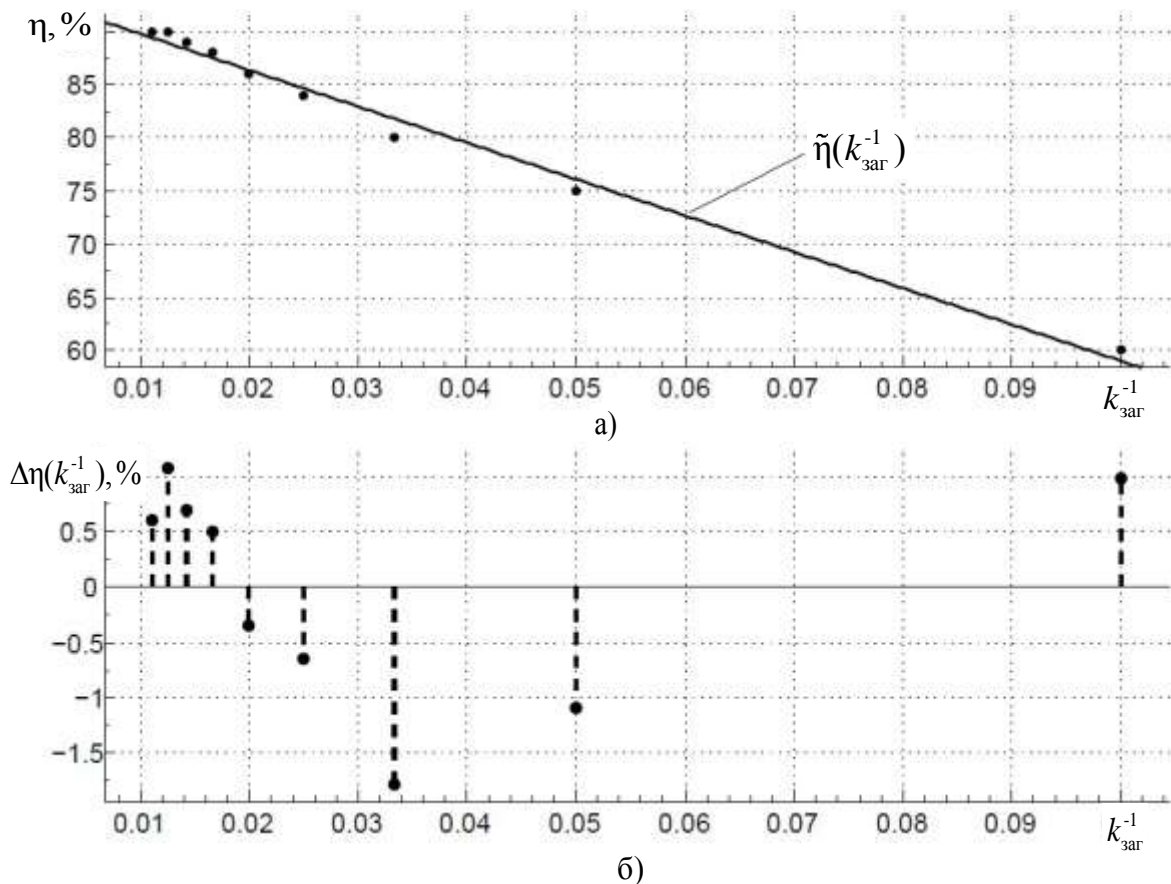


Рис. 2. Построение уравнения регрессии:  
 а – диаграмма рассеяния и линия регрессии  $\tilde{\eta}(k_{\text{заг}}^{-1})$ ;  
 б – значения вертикальных отклонений  $\Delta\eta(k_{\text{заг}}^{-1})$

Линейный вид функции  $\tilde{\eta} = f(k_{\text{заг}}^{-1})$  позволяет сделать вывод о том, что новая математическая модель будет относиться к тому же классу (линейных булевых математических моделей), что и математическая модель задачи оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения, в которой не учитываются эксплуатационные затраты.

Степень соответствия полученной функции регрессии фактическим экспериментальным данным может быть оценена с помощью коэффициента детерминированности:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^9 (\eta_i - \tilde{\eta}_i)^2}{\sum_{i=1}^9 (\eta_i - \bar{\eta}^*)^2} = 0,9893, \quad (14)$$

где  $\eta_i$  – экспериментальное значение КПД;

$\tilde{\eta}_i$  – значение КПД, предсказанное по уравнению регрессии;

$\bar{\eta}^*$  – среднее арифметическое экспериментальных значений КПД.

Близкое к 1 значение коэффициента детерминированности говорит о том, что уравнение регрессии (12) достаточно точно описывает исходные экспериментальные данные (табл. 1). Тогда выражение (9) для  $i$ -го потребителя может быть записано следующим образом:

$$C_{\Pi_i}(X) = c_{\text{э}} T_{\text{год}} P_{\text{рас}_i} \left( 1 - \frac{k_0 k_{\text{зар}}^{-1} + k_1}{100} \right) = c_{\text{э}} T_{\text{год}} k_{c_i} P_{\text{ном}_i} \left( 1 - \frac{k_1}{100} \right) - \frac{k_0 c_{\text{э}} T_{\text{год}} \cos \varphi_i}{10^4} \sum_{j=1}^l S_j \left( \sum_{n=1}^m n x_{ijn} + \sum_{k=1}^{m-1} k x'_{ijk} \right), \quad (15)$$

где  $C_{\Pi_i}(X)$  – стоимость потерь в СБЭ  $i$ -го потребителя (группы) за год, руб./год;

$k_0, k_1$  – коэффициенты уравнения регрессии  $\tilde{\eta} = f(k_{\text{зар}}^{-1})$ ;

Подстановкой выражений для определения  $C_{\Pi_i}(X)$  и  $K_i(X)$  в (5) получено выражение для критерия минимума приведенных затрат на СБЭ  $i$ -го потребителя:

$$Z_i(X) = \sum_{j=1}^l \left( p_{\Sigma} c_j - \frac{S_j k_0 c_{\text{э}} T_{\text{год}} \cos \varphi_i}{10^4} \right) \left( \sum_{n=1}^m n x_{ijn} + \sum_{k=1}^{m-1} k x'_{ijk} \right) + c_{\text{э}} T_{\text{год}} k_{c_i} P_{\text{ном}_i} \left( 1 - \frac{k_1}{100} \right) \rightarrow \min_{X \in D}, \quad (16)$$

Критерий (16) совместно с переменными (2) и ограничениями (3) представляет собой усовершенствованную математическую модель задачи оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей. Важно отметить, что использование данной модели не приведет к существенному усложнению решения задачи, для нахождения которого могут быть применены те же методы и алгоритмы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование усовершенствованной математической модели задачи оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей позволит обеспечить выбор оптимального варианта построения системы, снабжающей ответственных потребителей электроэнергией требуемого качества, с заданным уровнем надежности и с учетом не только капитальных расходов, но и последующих затрат на ее эксплуатацию.

## Список используемых источников

1. Анализ задачи обеспечения электроснабжения ответственных потребителей с заданным уровнем обеспечения надежности / В.В. Карагодин, Е.М. Рудой, К.А. Полянский, С.В. Морозов // Вестник СПбО АИН. – 2015. – Вып. №11. – С. 162–171.
2. Карагодин В.В., Полянский К.А. Постановка задачи оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов Космических войск // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 175–181.
3. Карагодин В.В., Полянский К.А. Задача оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов Министерства обороны // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – № 1, Т. 12. – С. 20–27.
4. Карагодин В.В., Пешехонов Н.Е. Проектирование систем электроснабжения зданий и сооружений объектов МО: учеб.-метод. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 252 с.
5. Водяников В.Т. Экономическая оценка энергетика АПК: учеб. пособие. – М.: ИКФ «ЭКМОС», 2002. – 304 с.
6. Аббасова Т.С. Энергетическая эффективность систем электропитания для высокоскоростных телекоммуникационных систем // Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – №2, Т. 5. – С. 3–7.
7. Расмуссен Н. Моделирование эффективности энергопотребления в центрах обработки данных // Журнал сетевых решений/LAN. – 2007. – №11. – С. 40–47.
8. Сеньченков В.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных. – СПб.: ГУАП, 2006. – 244 с.

Д.П. Мандрица,  
кандидат техн. наук, доцент;

## ОЦЕНКА СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Решена задача оценки механических характеристик вязкоупругих материалов методом дифференциальной аппроксимации с использованием модифицированной итерационной схемы Гаусса – Ньютона. Для оценки точности рассмотренного метода решена задача идентификации для твердого полиуретана.

Ключевые слова: физико-механические свойства, нелинейные вязкоупругие материалы, идентификация материалов.

Опыт эксплуатации зарубежных и отечественных ракетно-космических комплексов показывает, что, несмотря на проведение широкого круга работ по повышению надежности всех систем стартового комплекса, при подготовке и запуске ракет-носителей могут возникать нештатные ситуации, приводящие в ряде случаев к *аварийным взрывам* компонентов ракетного топлива. Последствия подобных событий связаны со значительными повреждениями в несущих конструкциях, что, в свою очередь, может привести к снижению несущей способности и эксплуатационной пригодности специальных сооружений и в дальнейшем к нарушению их работоспособного технического состояния.

Для определения степени влияния возможных повреждений, вызванных различными аварийными событиями, в том числе аварийными взрывами, проводится широкий комплекс работ по техническому обследованию несущих конструкций и сооружений. Важной задачей при оценке технического состояния строительных конструкций стартовых сооружений является определение физико-механических характеристик материалов и прочностных свойств строительных конструкций в условиях воздействий эксплуатационных статических и динамических нагрузок, а также аварийных нагрузок и воздействий.

Характеристики физико-механических свойств материалов, используемых при создании инженерных конструкций специальных сооружений, являются исходной информацией как для назначения элементов конструкций, так и для проверки требований по предельным состояниям в процессе эксплуатации.

Основным источником получения указанных величин являются комплексные испытания: лабораторные, заводские и натурные испытания образцов исследуемых материалов с последующей статистической обработкой экспериментальных данных. Однако в некоторых случаях весьма затруднительно непосредственно по результатам эксперимента определить характеристики материала, описывающие его работу в рамках принятой модели статического или динамического деформирования. Такая ситуация, например, возникает при построении математической модели нелинейных вязкоупругих материалов, к которым относятся бетон и железобетон. В этом случае применение методов идентификации оказывается весьма эффективным [3, 4]. Под процессом идентификации (параметрической идентификации) следует понимать построение математической модели объекта по результатам экспериментальных исследований.

Параметрическая идентификация является многоэтапным процессом и в общем случае включает:

- 1) планирование и проведение эксперимента с целью получения данных о входном и выходном процессе;
- 2) определение или уточнение класса и структуры модели;

- 3) оценивание параметров модели известной структуры или параметров объекта;
- 4) анализ адекватности модели.

В качестве исходных данных исследуемых объектов принимаются прочностные и деформационные характеристики бетонных образцов: сопротивление бетона осевому сжатию  $R_{b,n}$  и осевому растяжению  $R_{bt,n}$ , предельные относительные деформации бетона при осевом растяжении и сжатии бетона  $\varepsilon_{b0}$ ,  $\varepsilon_{bt0}$  и другие характеристики [2]. Эти данные получают в ходе активного эксперимента с образцами бетонов при различных видах нагрузок и воздействий с учетом сложного нагружения.

Так, для описания модели деформирования железобетона в условиях одноосного сжатия (растяжения) воспользуемся нелинейным интегральным уравнением Волтерра следующего вида [3]:

$$\sigma = g(\varepsilon(t), k_1, k_2 \dots) + \int_0^t h(\varepsilon(\tau), d_1, d_2 \dots) f(t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $\sigma$ ,  $\varepsilon$  – скалярные компоненты напряжения и деформации соответственно, измеряемые при одноосном растяжении или сжатии образца.

Данная модель адекватно описывает процесс деформирования железобетона с учетом процесса запаздывания деформирования железобетона при динамических воздействиях и снижения напряжений в условиях одноосного (многоосного) нагружения [7].

Функция  $g(\varepsilon(t), k_1, k_2 \dots)$  представляется в параметрическом виде (параметры  $k_1, k_2, \dots$ ) и соответствует упругой составляющей напряжения в образце. Функция  $h(\varepsilon(\tau), d_1, d_2 \dots)$  отражает нелинейное вязкоупругое деформирование (параметры  $d_1, d_2, \dots$ ). Функция релаксации  $f(\tau)$  учитывает снижение напряжений в железобетонном образце со временем и также представляется в параметрическом виде.

Данная функция  $f(\tau)$  должна удовлетворять дифференциальному уравнению  $N$ -го порядка с постоянными коэффициентами  $a_i$ :

$$a_0 f + a_1 f^{(1)} + \dots + a_{N-1} f^{(N-1)} + f^{(N)} = 0. \quad (2)$$

Для идентификации материала проводится серия испытаний релаксационного типа, т. е. при постоянной деформации  $\varepsilon(t) = \varepsilon_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ .

Результаты испытания в каждой серии аппроксимируются аналитической функцией вида

$$\bar{\sigma}_i = \sigma_{i0} + \sigma_{it} F_i(t, m_{i1}, m_{i2}, \dots), \quad (3)$$

где  $\sigma_{i0}$ ,  $\sigma_{it}$ ,  $m_{i1}$ ,  $m_{i2}$  – константы, определяемые известными методами: наименьших квадратов, по критерию максимального правдоподобия, минимуму среднего риска и т. д.;

$F_i(t, m_{i1}, m_{i2} \dots)$  – функция, показывающая изменение напряжений в образцах в зависимости от вида напряженно-деформированного состояния и схемы нагружения.

При математической постановке задачи по известным экспериментальным значениям функций  $\bar{\sigma}_i(t)$  и  $\bar{\varepsilon}_i$  с использованием методов распознавания образов (по квадрату разности признаков) необходимо определить константы  $k_1, k_2 \dots d_1, d_2 \dots C_1^*, C_2^* \dots C_N^*$ ,

$$G(k_1, k_2 \dots d_1, d_2 \dots C_1, C_2 \dots C_N) = \sum_{i=1}^M \mu_i \int_0^{t_1} [\sigma_i(t) - \bar{\sigma}_i(t)]^2 dt, \quad (4)$$

где  $\mu_i$  – весовые коэффициенты.

Анализ выражений (1) и (3) показывает, что для рационального определения коэффициентов  $a_i$  в (2) необходимо функцию релаксации  $f(\tau)$  представить в следующем виде:

$$f_t \cong v_i(t), v_i(t) = \frac{d}{dt} F_i(t, m_{i1}, m_{i2} \dots). \quad (5)$$

Решение данной задачи выполняется методом дифференциальной аппроксимации [5], т. е. минимизируется функция

$$\sum_{i=1}^M \int_{t_1}^{t_2} [a_0 v_i + a_1 v_i^{(1)} + \dots + a_{N-1} v_i^{(N-1)} + v_i^{(N)}]^2 dt. \quad (6)$$

Тогда коэффициенты могут быть определены решением системы  $N$  однородных линейных уравнений

$$\int_{t_1}^{t_2} [a_0 v_i + a_1 v_i^{(1)} + \dots + a_{N-1} v_i^{(N)}] v_i^{(1)} dt = 0, \dots \dots \dots (7)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} [a_0 v_i + a_1 v_i^{(1)} + \dots + a_{N-1} v_i^{(N)}] v_i^{(M)} dt = 0,$$

где  $j = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ .

В работе [8] отмечается, что диаграмма напряжений при постоянных деформации имеет экспоненциальный вид и может быть представлена выражением

$$f(t) = \sum_{j=1}^N C_j e^{R_j t}. \quad (8)$$

Для определения параметров  $C_j, R_j$  решается характеристическое уравнение

$$a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + \dots + a_{N-1} R^{N-1} + R^N = 0. \quad (9)$$

Тогда для  $i$ -го испытания уравнение (1) записывается в виде

$$\sigma_i = g(\varepsilon_i, k_1, k_2 \dots) + h(\varepsilon_i, d_1, d_2 \dots) \sum_{j=1}^N C_j e^{R_j t}. \quad (10)$$

Для минимизации функционала (4) необходимо решение системы  $N$  нелинейных однородных уравнений:

$$\sum_{i=1}^M \mu_i \int_0^{t_1} E_i(t) \frac{\partial E_i(t)}{\partial a} dt = 0, \quad (11)$$

где  $a = k_1, k_2 \dots d_1, d_2 \dots C_1^*, C_2^* \dots C_N^*$ .

Решение системы уравнений (11) выполняется с использованием модифицированной итерационной схемы Гаусса – Ньютона [3], при этом в качестве начальных значений используются априорные оценки искомых параметров. Для оценки точности рассмотренного метода решена задача идентификации [4] для твердого полиуретана. На рис. 1 изображены график для функции  $\varepsilon(t)$  и релаксионные кривые, полученные экспериментально и предсказанные теоретически при различном числе  $N$  членов в представлении функции  $f(\tau)$ .

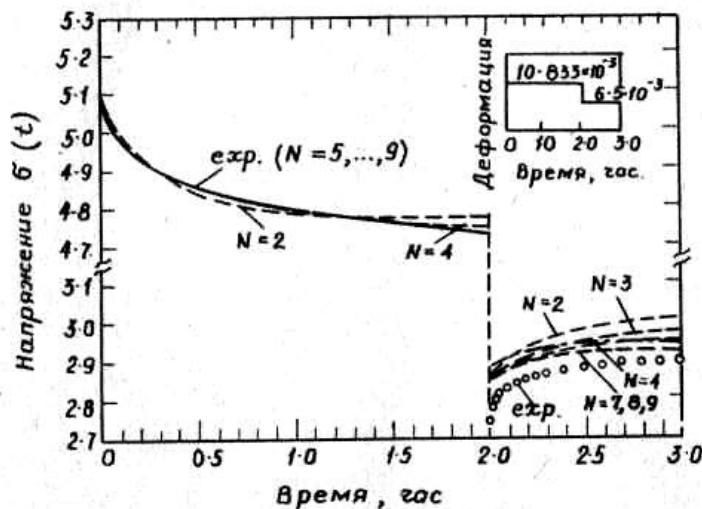


Рис. 1. График функции  $\varepsilon(t)$  и релаксионные кривые для твердого полиуретана



При  $N=7$  достигается наилучшее приближение теоретических и экспериментальных данных, причем для  $N>7$  точность практически не повышается.

В работе [4] теоретическое решение (1) – (11) обобщено для произвольной реализации соотношения «напряжение – деформация» при испытании исследуемого материала. В этом случае также получено хорошее соответствие предсказанных теоретических и опытных данных.

Таким образом, рассмотренный подход к идентификации вязкоупругих материалов является достаточно эффективным при решении практических задач.

### Список используемых источников

1. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Яковлев В.П. Идентификация механических систем. Определение динамических характеристик и параметров. – Киев: Наукова думка, 1985. – 216 с.
2. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М., 2012.
3. Distefano N., Todeschini R. Modelin, identification and predication of a class of nonlinear viscoelastic materials (I). – Int.J.Solids Structures, 1973. – Vol. 9. – P. 805–818.
4. Distefano N. Modelin, Identification and predication of a class of a class of nonlinear viscoelastic materials (II). Int. J. Solids Structures, 1973. – Vol. 9. – P. 1431–1438.
5. Simonein S.S. Inverse problems in structural dynamics – II. Applications. – Int. J. Num. Meth. Engr, 1981. – Vol. 17. – P. 367–386.
6. Distefano N. System identification problems in hereditary biomechanical processes. //Proc. Fifth Asilomar conf. On Circuits and Systems, Pacific Grove. – California, 1971.
7. Рекомендации по определению прочностных и деформационных характеристик бетона при не одноосных напряженных состояниях. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. – 72 с.
8. Попов Г.И. Железобетонные конструкции, подверженные действию импульсных нагрузок. – М.: Стройиздат, 1986. – 128 с.

А.А. Сасункевич,  
кандидат техн. наук;  
А.П. Софьин,  
кандидат техн. наук;  
Л.А. Фёдорова,  
кандидат техн. наук

## **ФАКТОРЫ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И ЗАЩИТА КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ ОТ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Рассмотрены условия, определяющие функционирование роботов в космическом пространстве, а также основные средства их защиты от внешнего воздействия.

Ключевые слова: робот, условия космоса, манипулятор, космическое пространство, средства защиты.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Перспективы освоения космоса неразрывно связаны с развитием робототехнических комплексов различного назначения. Роботы находят всё большее применение в интересах Министерства обороны Российской Федерации. В настоящее время общепризнано, что проектирование и промышленный выпуск космических роботов – одна из наиболее актуальных задач космической техники [1]. Космический робот является сложным техническим устройством, разработка и эксплуатация которого требуют учета целого комплекса требований.

### **ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОБОРУДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ**

Анализ общих требований к роботам можно встретить в различных источниках, в том числе в работах [2, 3]. К космическим роботам следует выдвигать такие же требования, какие предъявляются к космическим аппаратам [4, 5].

Условия функционирования космических роботов, так же как и космических аппаратов, тесно связаны с влиянием глубокого вакуума, электромагнитной и корпускулярной радиацией, с метеорной опасностью, со своеобразными тепловыми режимами, широким диапазоном статических и вибрационных перегрузок [4].

К космическим роботам предъявляется ряд требований.

1. Конструкция робота должна обеспечить его сохранность и работоспособность при транспортировке робота в район выполнения работ и при выполнении сервисных операций.

Для сохранения работоспособности робота его конструкция, применяемые в ней материалы, аппаратура и принцип действия (при всех видах воздействия в установленных условиях и конкретной пространственной зоне применения) должны соответствовать:

- диапазону рабочих температур и давлений;
- наличию радиационных потоков различного состава;
- характеру физико-химического взаимодействия с природными образованиями и материалом технических устройств.

2. Весовые и габаритные параметры робота в целом должны соответствовать гравитационным условиям рабочей зоны, предназначенной для функционирования.

3. Конструкция робота должна обладать возможностью обеспечить движение звеньев его манипуляторов по установленным или возможным перспективным траекториям, с учетом

наличия технических и природных препятствий и возможности выполнения сервисных маневров.

4. Робот должен быть снабжен (при необходимости) устройствами для регулирования теплового режима, энергопитания и приводов, а также контроля движения звеньев манипуляторов.

5. Элементы конструкции по своей структуре и прочностным характеристикам должны соответствовать всем типам нагрузок, возникающих при подготовке, сборке и транспортировке робота, а также на всех режимах работы.

6. Устройство и способы применения робота должны обеспечивать установленные затраты времени на приведение робота в готовность к функционированию.

Совокупность вышеуказанных требований, в свою очередь, определит облик и структуру самого робота и собственные механические свойства его элементов.

Минимальные высоты полета космических аппаратов составляют 120–140 км [5] и соответствуют, как правило, перигеям эллиптических орбит. Именно с этой высоты можно определить начало зоны возможного применения космических роботов.

Очевидно, что в наибольшей степени особенности применения роботов связаны с температурными условиями космоса. Температура в космосе меняется в чрезвычайно широком диапазоне, и особенно в зависимости от того, будет робот находиться на солнечном участке орбиты или в тени. К тому же его тепловой режим определяется не только внешними условиями, но и внутренними источниками тепла. Можно ожидать, что в предельном случае космический объект в космосе может охладиться до температуры, близкой к абсолютному нулю, примерно  $-269^{\circ}\text{C}$  [6]. С другой стороны, при освещении Солнцем произойдет нагрев конструкции до сотен градусов.

Кроме того, условия космоса характеризуются низким давлением окружающей среды ( $p = 10^{-8} \dots 10^{-12}$  Па) [4]. Этот вакуум вызывает испарение конструкционных материалов, покрытий, смазок. Отрицательный аспект низких давлений и широкого диапазона температур окружающей среды может проявляться в следующем:

- космический вакуум и диапазон температур не позволяют использовать большинство видов горюче-смазочных материалов;
- возникает необходимость обеспечения работоспособности самого робота в широком диапазоне температур.

Рассмотрим состав космического излучения. Оно состоит, примерно, на 90 % из протонов (т. е. ионов водорода), на 7 % из ядер гелия (альфа-частиц), а также из 1 % более тяжелых атомов и 1 % электронов. Звезды, включая наше Солнце, ядра галактик, Млечный Путь и другие космические объекты являются источником не только видимого света, но и рентгеновского и гамма-излучения. Во время вспышек на Солнце радиация от него увеличивается в 1000–1000000 раз, что может стать проблемой для функционирующих в космосе устройств. Возмущения ионосферы во время солнечных вспышек в ряде случаев могут привести к временной потере возможности коротковолновой радиосвязи и, соответственно, снижению качества передачи управляющих сигналов.

Известно, что вокруг Земли располагаются пояса заряженных частиц – так называемые радиационные пояса Ван Аллена. Первый находится в среднем на высоте 4000 км над земной поверхностью и состоит преимущественно из протонов с энергией в десятки мегаэлектрон-вольт [6]. Относительно центра Земли этот пояс, как и порождающее его магнитное поле, расположен несимметрично: в Западном полушарии нижний край его опускается до высоты 600 км, в Восточном – поднимается до 1600 км. В некоторых местах (например, в южной части Атлантического океана) повышенная радиация начинается на еще меньших высотах – 350–400 км, что объясняется влиянием местных магнитных аномалий.

Опасность потоков электронов, гамма и рентгеновского излучения заключается в накоплении зарядов в электронных устройствах управляющей, информационной и коммуникационной систем и изменении их технических параметров. Это может привести к отказу

аппаратуры или временным отключениям приборов, применяемых в составе различных систем. Тяжелые заряженные частицы – протоны, альфа-частицы и ионы больших энергий имеют чрезвычайно высокую энергию, достаточную для прохождения через микросхемы и другие элементы, что может привести к значительным последствиям – от появления программных ошибок до сгорания микросхем.

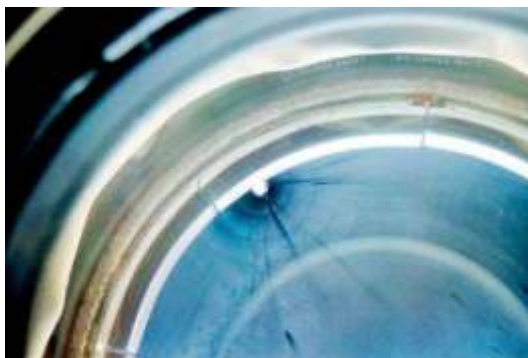
Среди основных проблем, связанных с условиями функционирования космических роботов, нужно отметить возможность механического воздействия на конструкцию роботов в результате их столкновения с твердыми частицами межпланетной среды (межпланетная пыль, метеорные тела) и частицами скопившегося в космическом пространстве мусора.

Полученные в результате фотографических и радиолокационных наблюдений значения плотности метеорных тел колеблются в пределах от 0,16 до 4 г/см<sup>3</sup>, а их скорость меняется в диапазоне от 11 до 72 км/с. В условиях космического пространства метеорное воздействие на конструкции представляется в виде кратеров или даже отверстий. Последствия такого столкновения зависят от скорости, плотности и размера частиц. Так, к примеру, каменная частица при скорости 15 км/с способна пробить оболочку, толщина которой в 5-6 раз превышает ее размер, а при скорости 30 км/с – в 10-12 раз. Вероятность пробоя оболочки конструкции зависит от интенсивности потока, продолжительности работы оборудования в этих условиях, толщины оболочки и площади поверхности, которая может подвергаться воздействию частиц. Столкновение элементов робота с относительно крупными метеорными частицами (массой больше 10<sup>-4</sup>–10<sup>-5</sup> г) могут вызвать пробой оболочек элементов манипуляторов и разгерметизацию конструктивных полостей.

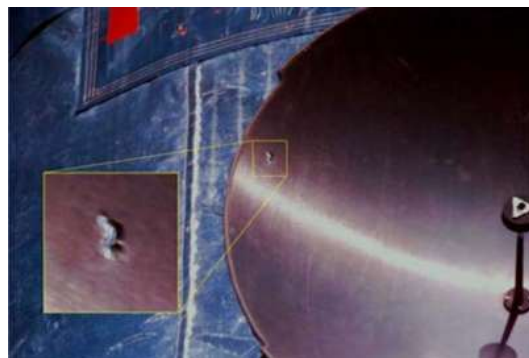
Обычно столкновение конструкции роботов с большим числом мелких метеорных тел приводит к эрозии поверхностного слоя. Это опасно для оптических приборов, поверхностей со специальным покрытием, а также солнечных батарей. Проникновение метеорных тел внутрь робота может привести к откалыванию частиц от внутренней поверхности оболочки корпуса, что, в свою очередь, может представлять опасность для аппаратуры и приводов механической системы. Достаточно крупные частицы могут попасть в полости элементов кинематических пар и привести к увеличению потерь мощности на трение и в крайних случаях заклиниванию и остановке механизмов.

Под космическим мусором (КМ) подразумеваются объекты искусственного происхождения и их фрагменты в космосе, которые являются неисправными, не используются по прямому назначению и не могут служить никаким полезным целям [7]. Количество частиц КМ различного размера составляет сотни тысяч единиц [8], а суммарная масса космических объектов искусственного происхождения, находящихся в околоземном космическом пространстве, оценивается в 5000 т. Их воздействие аналогично воздействию метеорных тел.

На рис. 1 и 2 представлены зафиксированные повреждения конструкций космическим мусором [9, 10].



*Рис. 1. Кратер на стекле иллюминатора шаттла от удара микрочастицы КМ*



*Рис. 2. Повреждение антенны телескопа Hubble космическим мусором*

Условия космоса связаны не только с негативными последствиями тех или иных явлений. Например, условия низкой гравитации связаны с появлением уникальной возможности для решения некоторых технических задач. Низкая гравитация позволяет:

- обеспечить возможность движения робота, имеющего сложную и тяжелую структуру;
- повысить отказоустойчивость отдельных механических систем ввиду их недозагрузки;
- обеспечить выполнение операций даже при частичной поломке конечностей манипуляторов;
- значительно снизить потребление энергии для питания двигателей привода.

Анализ представленных выше материалов позволяет представить уровень влияния различных факторов на работоспособность космических роботов (табл. 1).

Таблица 1

### Влияние основных факторов окружающей среды на работоспособность роботов

Фактор	На что влияет	Последствия и проблемы
Широкий температурный диапазон	Нагрев и охлаждение элементов конструкции, интенсивность испарения материалов, энергетические потери на трение при работе трущихся звеньев	Недопустимая деформация элементов конструкции робота, заклинивание подвижных частей механической системы, потеря несущей способности конструктивными элементами, снижение работоспособности оборудования и выход его из строя
Низкое давление окружающей среды	Состояние покрытий, смазочных и защитных материалов	Испарение материалов (конструкций, покрытий, смазочных материалов), износ оборудования, повышение расхода мощности на трение, снижение работоспособности оборудования
Гравитационные условия	Устойчивость структуры робота. Возможность выполнения перемещений и сервисных маневров при различном уровне мощности привода и грузоподъемности механической системы робота	Изменение устойчивости структуры робота. Изменение работоспособности манипуляторов механической системы, диапазона их функциональности. При низкой гравитации затрудняется работа систем с жидкими и газообразными рабочими телами. Требуют учета: явление смачиваемости, поверхностного натяжения. Отсутствие конвекции
Космическая радиация	Физико-химическая структура материалов, их прочность, агрегатное состояние, цвет, оптические свойства. Работоспособность аппаратуры	Изменение механических свойств материалов. Временная потеря радиосвязи, отключение и отказ аппаратуры управляющей, коммуникационной и информационной систем. Ионизация среды, в которой функционируют приборы
Метеорные потоки, межпланетная пыль	Целостность элементов конструкций. Работоспособность аппаратуры	Механические повреждения или разрушение элементов конструкций всех систем робота, повреждения приборов
Космический мусор	Целостность элементов конструкций. Работоспособность аппаратуры	Механические повреждения или разрушение элементов конструкций всех систем робота, повреждения приборов
Химическое взаимодействие	Целостность элементов конструкций	Повреждение элементов конструкций, увеличение затрат мощности на трение

## СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ

Условия космоса диктуют необходимость применения различных вариантов защиты космических роботов. Защитные устройства робота могут соответствовать уже разработанным средствам защиты, планируемыми к использованию для защиты космических аппаратов.

Анализ разработанных к настоящему времени способов и устройств позволяет предложить в условиях космоса использовать следующие основные методы защиты робототехнических устройств [4, 11, 12, 13, 14]:

1. Общие способы защиты – использование различных вариантов изменения параметров движения при возникновении опасности силового воздействия, в том числе уклонения от источников воздействия; прямое уничтожение опасного объекта; дублирование сигналов управления по разным каналам и создание резервных копий внутренней информации робототехнического устройства.

2. Способы защиты конструкции элементов робота от механического воздействия – применение многослойных оболочек в конструкции элементов робота; применение двойной конструкции корпусов элементов робота с заполнением пространства между стенками специальным материалом; установка постоянных защитных экранов, встроенных в конструкцию робота; применение выдуваемых экранов; монтаж разворачиваемых экранов различной конструкции; монтаж защитных ячеистых конструкций из металлической сетки; покрытие элементов робота затягивающимся после удара частиц космического мусора или метеорных частиц материалом; использование компактных препятствий из равномерно распределенного гранулированного взрывчатого вещества, оказывающего ударно-кинетическое воздействие на фрагменты космического мусора и метеоритные частицы; применение электромагнитных систем защиты от орбитальных осколков с защитными пластинами из электропроводящего материала; использование защитных шторок для оптических приборов.

3. Способы снижения степени влияния низкого давления – применение покрытий защитными пленками-покрытиями для снижения испаряемости материалов (фосфатирование, окисные пленки, цементирование); металлизация пластмассовых оболочек (покрытие слоем металла, чаще всего алюминия, иногда золота); использование более мощных сальниковых уплотнений, специальных покрытий и смазок с низким давлением насыщенных паров; использование низкооборотных кинематических пар; применение специальных консистентных смазок и антифрикционных материалов с низким давлением насыщенных паров; использование самосмазывающихся материалов (пластмасс, текстолитов, специальных материалов); использование выводов через сиффон; повышение мощности приводных устройств при граничном трении.

4. Способы тепловой защиты конструкции и устройств робота – установка систем терморегулирования пассивного и активного типа; организация сброса тепла – радиационное охлаждение поверхности; оптимизация площади нагрева робота; применение уносимых поверхностей; поглощение тепла теплозащитным слоем.

5. Способы защиты от радиации – увеличение массы и толщины конструктивных элементов на выбранных направлениях; использование метода электростатического экрана; применение защитных покрытий; использование стойких к ультрафиолетовому излучению материалов, например керамических красок.

Режим защиты должен распространяться как на период транспортировки космического робота в район выполнения работ, так и во время выполнения сервисных операций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкий спектр возможных операций в условиях космического пространства в первую очередь определяет необходимость замены человека на механические устройства для повы-

шения уровня безопасности и производительности выполнения работ. Используемые с этой целью роботы должны обеспечить выполнение всей совокупности сервисных операций в условиях воздействия факторов космического пространства. Для этого необходимо обеспечить работоспособность космических роботов на весь период их функционирования на орбите. В настоящей статье представлены некоторые из возможных способов их защиты.

### Список используемых источников

1. <http://mosmonitor.ru> (дата обращения: 12.12.2016).
2. Корендяев А.И. Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы роботехники: в 2 кн. // отв. ред. С.М. Каплунов; Ин-т машиноведения им. А.А. Благодирова РАН. – М.: Наука, 2006. – Кн. 1. – 383 с.
3. Манипуляционные системы роботов / А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др.; под общ. ред. А.И. Корендяева. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.
4. Гуцин В.Н. Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
5. Конструирование автоматических космических аппаратов / Д.И. Козлов, Г.П. Аншаков, В.Ф. Агархов и др.; под ред. Д.И. Козлова. – М.: Машиностроение, 1996. – 448 с.
6. [http://www.pravda.ru/science/planet/space/05-08-2013/1167687-van\\_allen-0/](http://www.pravda.ru/science/planet/space/05-08-2013/1167687-van_allen-0/) (дата обращения: 02.12.2016).
7. <http://rupor.sampo.ru/topic/3348> (дата обращения: 02.12.2016).
8. <http://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 02.12.2016).
9. <http://infoastro.ru/stati/delo-tehniki/item/15-космический-мусор.html> (дата обращения: 02.12.2016).
10. [http://www.infox.ru/science/planet/2011/04/14/Kosmicheskiy\\_musor\\_\\_print.phtml](http://www.infox.ru/science/planet/2011/04/14/Kosmicheskiy_musor__print.phtml) (дата обращения: 02.12.2016).
11. Чернышев В.В. Космические обитаемые станции. – М.: Машиностроение, 1976. – 160 с.
12. Пат. 2481256 Российская Федерация, МПК В64G1/56. Устройство для защиты космического аппарата от метеорных частиц / Семкин Н.Д., Бабенко А.В., Телегин А.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» (СГАУ) (RU). – № 2011142950; заявл. 24.10.2011; опубл. 10.05.2013.
13. Пат. 2474516 Российская Федерация, МПК В64G1/00, В64G1/56. Способ разрушения фрагментов космического мусора / Мирошников С.Ю., Сорокин С.В., Хмельщиков М.В., Тимофеев Ю.Т.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» (RU). – № 2011131723; заявл. 29.07.2011; опубл. 10.02.2013.
14. Пат. 2316456 Российская Федерация, МПК В64G1/56, F41H5/007. Электромагнитная система защиты космических аппаратов от орбитальных осколков / Керножицкий В.А., Кондратова Е.С., Крикалев С.К.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (БГТУ «ВОЕНМЕХ») (RU). – № 2006110151; заявл. 29.03.2006; опубл. 10.02.2008.

О.А. Скоробогатова,  
кандидат техн. наук, доцент

## АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ С ИМПЕДАНСНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Рассмотрено асимптотическое решение задачи дифракции электромагнитной волны (ЭМВ) на цилиндрической поверхности с импедансным покрытием. Отличие предлагаемого решения от классического заключается в том, что одновременно учтены кривизна и радиофизические свойства поверхности, а также сняты ограничения на электрический радиус объекта.

Ключевые слова: импедансный цилиндр, электромагнитная волна, суперпозиция полей, функции Ханкеля.

### ВВЕДЕНИЕ

Для защиты безопасности околоземного пространства от средств воздушно-космического нападения противника важно знать априорную информацию о параметрах отраженных сигналов лоцируемых объектов, получаемую на основе измерений эффективной площади отражения и сравнения ее с результатами моделирования. Результаты моделирования могут представлять собой программный продукт, содержащий набор подпрограмм моделирования отдельных частей цели из простых геометрических форм, таких как сфера, круговой цилиндр, конус и плоскость. Подлежащие определению параметры – это относительные размеры (по отношению к длине волны), характеризующие материал константы, положение и угол наблюдения. Например, требуется определить зависимость эффективной площади отражения малого летательного аппарата от ракурса, тогда в качестве простых объектов моделирования выбираются импедансный цилиндр с примыкающими к нему диэлектрическим конусом и набором импедансных плоскостей.

Цель написания работы – получение программно реализуемого решения задачи дифракции плоской электромагнитной волны (ЭМВ) на цилиндрической структуре с импедансным покрытием.

### СТРОГОЕ РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

В качестве электродинамической модели (ЭДМ) предлагается использовать импедансную цилиндрическую структуру большого электрического радиуса, радиофизические параметры которой учитываются заданием граничных условий на поверхности через введение относительного импеданса  $Z_{\pm} = \xi' \pm j\xi''$ . Здесь  $\xi'$ ,  $\xi''$  – вещественная и мнимая (индуктивная или емкостная) часть импеданса. Такая ЭДМ позволяет учесть влияние на поле рассеяния криволинейных участков поверхности объекта наблюдения с учетом характерных для него радиофизических параметров.

Электромагнитные волны, облучающие объект, могут иметь произвольную поляризацию. Возникающее при этом поле дифракции можно представить в виде суперпозиции двух ортогонально поляризованных полей. Тогда задачу облучения объекта источником с произвольной поляризацией (или наклонного падения) можно свести к рассмотрению случаев дифракции электромагнитных волн Е- и Н-поляризации. Так как облучаемый объект нахо-



дится относительно источника излучения в дальней зоне, то поле излучения можно представить плоскими ЭМВ.

Введем цилиндрическую систему координат  $(\rho, \varphi, z)$ , где ось  $Z$  направлена вдоль оси цилиндра, а угол  $\varphi$  отсчитывается против часовой стрелки. Радиус импедансного цилиндра обозначим через  $a$ . Пусть на круглый цилиндр большого электрического радиуса ( $ka \gg 1$ ) с комплексным поверхностным импедансом  $\dot{Z}_{\text{ц}} = R_{\text{ц}} + iX_{\text{ц}}$  из бесконечности перпендикулярно оси  $Z$  падает под углом  $\varphi_0$  плоская линейно поляризованная электромагнитная волна (рис. 1).

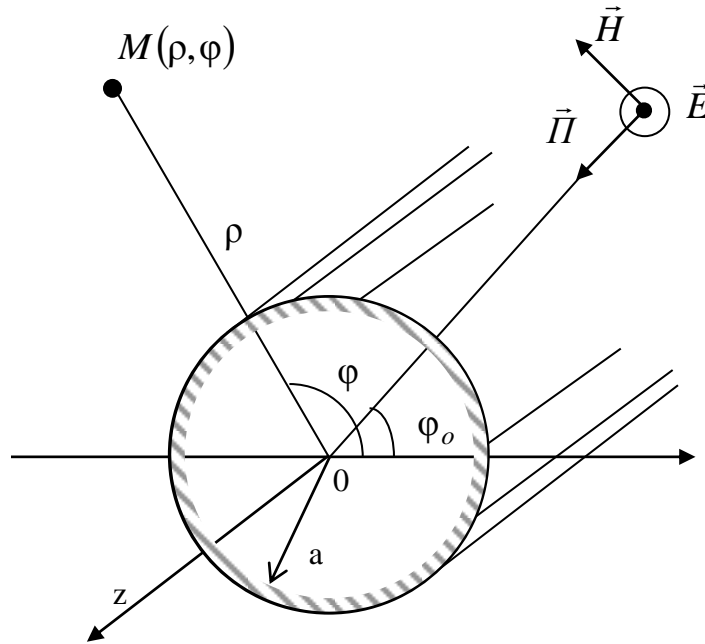


Рис. 1. Постановка задачи

Все сторонние источники будем считать расположенными во внешней по отношению к радиусу цилиндра области ( $\rho \gg a$ ). Примем временную зависимость как  $\exp(i\omega t)$ .

При решении задачи ограничимся рассмотрением двух типов поляризации падающей волны относительно оси цилиндра: вектор  $\dot{\vec{E}}_{\text{пад}}$  параллелен оси  $Z$  (вектор  $\dot{\vec{H}}_{\text{пад}}$  параллелен оси  $Z$ ). Любую другую ориентацию векторов  $\dot{\vec{E}}_{\text{пад}}$  и  $\dot{\vec{H}}_{\text{пад}}$  первичного поля можно представить как суперпозицию этих двух случаев.

Комплексный вектор напряженности электрического поля падающей волны (Е-поляризации) имеет следующее выражение:

$$\dot{\vec{E}}_{\text{пад}} = \dot{\vec{E}}_{z\text{пад}} = \dot{E}_0 e^{ikx} \vec{l}_z = \dot{E}_0 e^{-ik\rho \cos(\varphi - \varphi_0)} \vec{l}_z, \quad (1)$$

где  $\varphi_0$  – угол падения ЭМВ;

$(\rho, \varphi)$  – координаты точки наблюдения;

$\dot{E}_0$  – комплексная амплитуда падающей ЭМВ Е-поляризации.

Комплексный вектор напряженности магнитного поля падающей волны (Н-поляризации) имеет следующий вид:

$$\dot{\vec{H}}_{\text{пад}} = \dot{\vec{H}}_{z\text{пад}} = \dot{H}_0 e^{ikx} \vec{l}_z = \dot{H}_0 e^{-ik\rho \cos(\varphi - \varphi_0)} \vec{l}_z, \quad (2)$$

где  $\dot{H}_0$  – комплексная амплитуда падающей ЭМВ Н-поляризации.

Для поля Е-поляризации уравнения Максвелла в цилиндрической системе координат определяются компонентами  $\dot{E}_z$ ,  $\dot{H}_\rho$  и  $\dot{H}_\varphi$  ( $\dot{H}_z = \dot{E}_\rho = \dot{E}_\varphi = 0$ ), для поля Н-поляризации – компонентами  $\dot{H}_z$ ,  $\dot{E}_\rho$  и  $\dot{E}_\varphi$  ( $\dot{E}_z = \dot{H}_\rho = \dot{H}_\varphi = 0$ ).

Электромагнитное поле на поверхности цилиндра должно удовлетворять импедансным граничным условиям. Для плоской линейно поляризованной волны импедансные граничные условия при  $\rho = a$  можно записать следующим образом:

– для поля Е-поляризации:

$$\dot{E}_z = \dot{Z}_{\text{пов}}^E \dot{H}_\varphi; \quad (3)$$

– для поля Н-поляризации:

$$E_\varphi = -\dot{Z}_{\text{пов}}^H H_z, \quad (4)$$

где  $\dot{Z}_{\text{пов}}^E$  ( $\dot{Z}_{\text{пов}}^H$ ) – комплексный поверхностный импеданс.

Поле в каждой точке пространства вне цилиндра представим в виде суммы падающего (первичного) и отраженного (вторичного) полей:

$$\dot{E}_{z\text{пад}} + \dot{E}_{z\text{отр}} = \dot{Z}_{\text{пов}}^E \dot{H}_\varphi \quad \text{при } \rho = a, \quad (5)$$

$$\dot{H}_\varphi = \dot{H}_{\varphi\text{пад}} + \dot{H}_{\varphi\text{отр}}; \quad (6)$$

$$\dot{E}_\varphi = -\dot{Z}_{\text{пов}}^H (\dot{H}_{z\text{пад}} + \dot{H}_{z\text{отр}}) \quad \text{при } \rho = a, \quad (7)$$

$$\dot{E}_\varphi = \dot{E}_{\varphi\text{пад}} + \dot{E}_{\varphi\text{отр}}. \quad (8)$$

Решение задачи дифракции плоских электромагнитных волн на импедансной цилиндрической структуре имеет следующий вид:

$$\dot{E}_z = -\frac{\dot{E}_0}{2} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} (i)^m \frac{H_m^{(1)}(ka) + H_m^{(2)}(ka)}{H_m^{(2)}(ka)} a_m^E H_m^{(2)}(k\rho) e^{im\varphi}; \quad (9)$$

$$\dot{H}_\varphi = -i \frac{\dot{E}_0}{2Z_0} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} (i)^m \frac{H_m^{(1)}(ka) + H_m^{(2)}(ka)}{H_m^{(2)}(ka)} a_m^E H_m^{(2)'}(k\rho) e^{im\varphi}; \quad (10)$$

$$\dot{H}_z = \frac{\dot{H}_0}{2} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} (i)^m \frac{H_m^{(1)'}(ka) + H_m^{(2)'}(ka)}{H_m^{(2)'}(ka)} b_m^H H_m^{(2)}(k\rho) e^{im\varphi}; \quad (11)$$

$$\dot{E}_\varphi = -i \frac{Z_0 \dot{H}_0}{2} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} (i)^m \frac{H_m^{(1)'}(ka) + H_m^{(2)'}(ka)}{H_m^{(2)'}(ka)} b_m^H H_m^{(2)'}(k\rho) e^{im\varphi}. \quad (12)$$

где  $H_m^{(1)}(k\rho)$ ,  $H_m^{(2)}(k\rho)$  – функции Ханкеля  $m$ -го порядка первого и второго рода соответственно.

Коэффициенты, учитывающие поверхностный импеданс, определяются по формулам:

$$a_m^E = \frac{\left(1 + i\dot{Z}_N^E \frac{J'_m(ka)}{J_m(ka)}\right)}{\left(1 - i\dot{Z}_N^E \frac{H_m^{(2)'}(ka)}{H_m^{(2)}(ka)}\right)}; \quad (13)$$

$$b_m^H = \frac{\left(1 - i\dot{Z}_N^H \frac{J'_m(ka)}{J_m(ka)}\right)}{\left(1 + i\dot{Z}_N^H \frac{H_m^{(2)'}(ka)}{H_m^{(2)}(ka)}\right)}, \quad (14)$$

где  $k$  – волновое число свободного пространства;  
 $J_m(ka)$  – функция Бесселя  $m$ -го порядка.

Нормированный поверхностный импеданс –  $\dot{Z}_N^E = \frac{\dot{Z}_{\text{пов}}^E}{\dot{Z}_0}$  ( $\dot{Z}_N^H = \frac{\dot{Z}_{\text{пов}}^H}{\dot{Z}_0}$ ). Здесь  $\dot{Z}_{\text{пов}}^E$  ( $\dot{Z}_{\text{пов}}^H$ ) –

комплексный поверхностный импеданс;  $Z_0$  – волновое сопротивление свободного пространства,  $Z_0 = 120\pi$  [Ом].

Достоверность полученных решений подтверждается согласованностью с теоретическими результатами, приведенными в [1] и [2].

Соотношения (9) – (12) являются строгим решением поставленной задачи. Анализ данных формул показывает, что функция  $H_m^{(1)}(kr)$  соответствует цилиндрической волне, распространяющейся из бесконечности к оси  $Z$ , а функция  $H_m^{(2)}(kr)$  – цилиндрической волне, распространяющейся от оси  $Z$  в бесконечность вдоль радиусов  $\rho$ . Однако вследствие медленной сходимости рядов при  $ka \gg 1$  данные соотношения не могут быть применены для численных расчетов электромагнитного поля, рассеянного от цилиндрических структур, электрические радиусы которых  $ka \geq 15$ . Это является ограничением для их применения в математическом моделировании в условиях радиолокационного наблюдения объектов, больших электрических размеров. Следовательно, необходимо получение асимптотических разложений из строгого решения поставленной задачи [3].

## АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Асимптотическое решение при  $ka \geq 15$  получается в виде быстро сходящихся рядов по вычетам в полюсах данных функций путем замены функций Ханкеля типа  $H_m^{(1),(2)}(ka)$  и их производных асимптотическими представлениями Фока, выражаемыми через функции Эйри, а функций Ханкеля  $H_m^{(1),(2)}(kr)$  и их производных – дебаевскими асимптотическими формулами. При этом особый интерес представляет поведение корней подынтегральных функций вблизи точек  $ka$ . В этом случае точки попадают в область тени или в так называемую фоковскую область, где седловые точки решения исчезают и дебаевские асимптотические

приближения для функций  $H_v^{(1,2)}(ka)$  неприменимы, так как они справедливы при  $|v - ka| > O[(ka)^{1/3}]$ .

Функции Ханкеля через асимптотические представления Фока будут иметь следующий вид [4, 5]:

$$H_m^{(1,2)}(ka) \cong \mp i(\pi)^{-1/2} \left(\frac{2}{ka}\right)^{1/3} W_{1,2} \left[ 2^{1/3} ka^{2/3} \left(\frac{v}{ka} - 1\right) \right]; \quad (15)$$

$$H_m^{(1,2)'}(ka) \cong \pm i(\pi)^{-1/2} \left(\frac{2}{ka}\right)^{2/3} W'_{1,2} \left[ 2^{1/3} ka^{2/3} \left(\frac{v}{ka} - 1\right) \right], \quad (16)$$

где  $W_{1,2}[\chi]$  – функции Эйри первого и второго рода;

$W'_{1,2}[\chi]$  – производные функций Эйри первого и второго рода.

Асимптотическое решение задачи дифракции ЭМВ на импедансных цилиндрических структурах большого электрического радиуса представлено для случая с Е-поляризацией следующим выражением:

$$\dot{E}_{z\text{цил}} = \dot{E}_{z\text{пад}} + \dot{E}_{z\text{отр}} + \dot{E}_{z\text{диф.соск}}. \quad (17)$$

Здесь  $\dot{E}_{z\text{пад}}$  – комплексная напряженность электрического поля прямой волны,

$$\dot{E}_{z\text{пад}} = \delta_1 \frac{\dot{E}_0 \exp(i(k\rho \sin(\varphi - \varphi_0) + \pi/4))}{k \rho}; \quad (18)$$

$\dot{E}_{z\text{отр}}$  – комплексная напряженность электрического поля отраженной волны,

$$\dot{E}_{z\text{отр}} = \delta_1 \dot{E}_0 \frac{a^E \exp\left(-i \left[ k\rho \sin(\varphi - \varphi_0 + 2\gamma_a) - 2ka_3 \cos(\gamma_a) + \frac{\pi}{4} \right] \right)}{k \rho \sqrt{1 - \frac{2 \sin(\varphi - \varphi_0 + 2\gamma_a)}{\cos \gamma_a}}}; \quad (19)$$

$\dot{E}_{z\text{диф.соск}}$  – комплексная напряженность электрического поля дифракции соскальзывающей волны,

$$\begin{aligned} \dot{E}_{z\text{диф.соск}} = & \delta_2 \dot{E}_0 \exp\left(\tau_1 \frac{(\sqrt{3} - i) \cdot k\sigma}{2^{4/3} (ka_3)^{2/3}}\right) \left(\frac{2}{ka_3}\right)^{1/3} \times \\ & \times \frac{a^E \sqrt{2} \exp\left(-i \left( k\rho \sin \gamma_2 + ka_3 (\varphi - \gamma_1 - \gamma_2) - \frac{\pi}{4} \right)\right)}{\sqrt{\pi} \sqrt{k\rho \sin \gamma_2}}. \end{aligned} \quad (20)$$

(где  $\dot{E}_0$  – комплексная напряженность электрического поля падающей ЭМВ;  $a_3$  – эквивалентный радиус объекта).

Коэффициент, учитывающий поверхностный импеданс, имеет вид:

$$a^E = \begin{cases} \frac{1 + i\dot{Z}_N^E \frac{h'_a}{h_a}}{1 - i\dot{Z}_N^E \frac{h'_a}{h_a}}, & (\delta_1) \\ \frac{1 - i\dot{Z}_N^E / M}{1 + i\dot{Z}_N^E / M}, & (\delta_2). \end{cases} \quad (21)$$

Здесь

$$h_a = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\sqrt[4]{(ka)^2 - v_s^2}};$$

$$h'_a = \sqrt{\frac{2}{\pi ka}} \left( -\frac{1}{2ka} \left[ 1 - \left( \frac{v}{ka} \right)^2 \right]^{-5/4} \right) \pm i \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\sqrt[4]{(ka)^2 - v_s^2}};$$

$$v_s = k\rho \cos(\pi - 2\gamma_a - \varphi + \varphi_0); |\tau_1| = 2,33811; M = \left( \frac{ka}{2} \right)^{\frac{1}{3}}.$$

Для Н-поляризации задача решается аналогичным образом.

Решение получено с помощью метода стационарной фазы и представления функций Ханкеля и их производных асимптотическими представлениями Дебая или через функции Эйри в соответствии с асимптотическими представлениями Фока. Теоретические сведения о асимптотических представлениях данных функций и их оценках приведены в [6].

Физический смысл формулы (17) заключается в представлении результирующего поля дифракции в виде суперпозиции падающей и отраженных волн, а также дифракционных волн соскальзывания. Характер поведения поля в дальней зоне целиком определяется характером и поведением парциальных полей, при этом важную роль играют расстояния до источников наблюдения, углы падения, длина волны излучения, радиофизические свойства поверхности. В освещенной области уровень напряженности поля существенно зависит от уровня отраженных волн, а в теневой зоне обусловлен в основном дифракционной составляющей электромагнитного поля.

Условие возникновения того или иного типа волны определяется геометрическими и радиофизическими свойствами объекта. Необходимо отметить, что волны типа «шепчущей галереи» являются неизлучающими и при больших значениях активной части импеданса ими можно пренебречь. Однако при попадании таких волн на криволинейные угловые образования поверхности, особенно при малых значениях активной части импеданса, они переходят в излучающие ЭМВ. Для волн соскальзывания можно учитывать только первую волну, так как все последующие волны будут иметь второй, третий порядок малости.

Достоверность полученного решения подтверждается согласованностью с известными теоретическими результатами и непротиворечивостью с положениями теории распространения радиоволн.

#### Выводы:

1. Приведенное асимптотическое решение задачи дифракции ЭМВ на цилиндрической поверхности содержит аналитические решения, позволяющие рассчитывать электромагнитное поле в заданных точках пространства.

2. Отличие предлагаемого решения от классического заключается в том, что в предложенном решении задачи дифракции одновременно учтены кривизна и радиофизические свойства поверхности, а также сняты ограничения на электрический радиус объекта.

3. Преимуществом предложенного подхода к решению задачи дифракции ЭМВ на цилиндре с импедансным покрытием является простота программной реализации полученных решений, что дает возможность повысить точность расчета напряженности электромагнитного поля в точке наблюдения.

### Список используемых источников

1. *Габриэлян Д.Д., Звезда М.Ю., Костенко П.И.* Влияние импедансной поверхности круглого цилиндра на диаграмму направленности электрического поля // Радиотехника и электроника. – 2000. – Т. 45, №10. – С. 1194–1197.
2. *Звезда М.Ю.* Поле диполя, расположенного вблизи импедансного круглого цилиндра // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2002. – Т.7, № 9. – С. 49–54.
3. *Скоробогатова О.А., Сташкевич А.И.* Решение задачи дифракции плоской электромагнитной волны на импедансном цилиндре большого электрического радиуса // Сборник трудов молодых ученых Военно-космической академии имени Можайского. – 2004. – Вып. №2.
4. *Вайнштейн Л.А., Малюжинец Г.Д.* Поперечная диффузия при дифракции на импедансном цилиндре большого радиуса. Ч. I: Параболическое уравнение в лучевых координатах // Радиотехника и электроника. – 1961. – №8. – С. 1247–1257.
5. *Вайнштейн Л.А., Малюжинец Г.Д.* Поперечная диффузия при дифракции на импедансном цилиндре большого радиуса. Ч. II. Асимптотические законы дифракции в полярных координатах // Радиотехника и электроника. – 1961. – №9. – С. 1247–1257.
6. *Петрашень Г.И., Марков Г.И., Смирнова Н.С.* О асимптотических представлениях цилиндрических функций // Ученые записки ЛГУ. – 1953.

С.Н. Смолинский  
ВИ(ИТ) ВА МТО, г. Санкт-Петербург

## **ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ УГОЛЬНЫМИ КОТЕЛЬНЫМИ С КОТЛАМИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ**

Представлен анализ состояния систем теплоснабжения на объектах МО РФ. Выполнен обзор исследований по разработке методов оценки технико-экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию угольных котельных по технологии высокотемпературного кипящего слоя. Сформулированы задачи для дальнейших исследований по разработке методики «экспресс-оценки» технико-экономической эффективности систем теплоснабжения с автоматизированными угольными котельными, укомплектованными котлами высокотемпературного кипящего слоя. Дана характеристика работы по сбору, обработке и анализу первичного статистического материала по технико-экономическим показателям низкоэффективных котельных и тепловых сетей на объектах МО РФ.

Ключевые слова: капитальные вложения, высокотемпературный кипящий слой, производственные функции.

Системы теплоснабжения объектов МО РФ, включающие источники теплоты (котельные установки) и тепловые сети, обеспечивают повседневную жизнедеятельность и работу во время несения боевых дежурств воинскими частями и подразделениями Вооруженных сил РФ.

Существенная часть источников теплоты в системах теплоснабжения военных городков приходится на твердотопливные котельные малой мощности – от 1 до 10 МВт. Большинство этих котельных построены в 60–80-ых годах прошлого столетия и их оборудование значительно изношено и морально устарело.

Как правило, угольные котельные малой мощности укомплектованы котлами с ручным обслуживанием устаревших конструкций. Работа таких котельных характеризуется низкими эксплуатационным КПД (меньше 40%), неудовлетворительными экономическими показателями и крайне тяжелыми санитарно-гигиеническими условиями работы эксплуатационного персонала.

Применение в котельных котлов с механическими слоевыми топками (с шурующей планкой, подвижной колосниковой решеткой, наклонной переталкивающей решеткой) несколько повышает эффективность сжигания только сортированных каменных углей. При поставке на такие котельные несортированных каменных и бурых углей с зольностью > 15% и влажностью > 30% эффективность горения резко падает и КПД не превышает 40–50%.

Изложенное предопределяет необходимость внедрения новых энергосберегающих технологий при строительстве и реконструкции угольных котельных военных городков. В Военном инженерно-техническом университете в трудах известных ученых В.К. Аверьянова, А.Н. Агафонова, П.В. Дружинина, И.С. Игнатчика, В.В. Дыбка, Ю.А. Ильина, А.М. Костыри, В.Г. Кривова, Б.Ф. Лямаева, А.К. Михайлова, А.В. Орлова, Р.М. Петриченко, В.А. Путятинского, А.В. Смирнова, В.В. Сомова, С.А. Чистовича и многих других в разные годы были выполнены обширные научные исследования по проблемам энергосбережения и энергоэффективности технических систем

Одним из наиболее перспективных направлений модернизации и технического перевооружения существующих в МО РФ угольных котельных является применение технологии сжигания угля в высокотемпературном «кипящем» слое (ВТКС). В настоящее время накоплен значительный опыт разработки и промышленного изготовления высокоэффективных,

автоматизированных котлоагрегатов КВП-1,74-ВТКС, а также опыт проектирования, строительства и реконструкции угольных котельных с применением таких котлоагрегатов. Результаты исследований по данному направлению нашли отражение в работах ученых научной школы профессора А.В. Смирнова: доктора технических наук, профессора Ю.В. Юферева, кандидата технических наук А.Е. Лукичева, В.Ю. Воронова, С.А. Кныша, А.В. Балабана, Д.В. Антоновича, В.П. Дружинина, М.А. Карпова, Д.А. Проскуракова, А.В. Бондарева [1–3].

Тепловые сети на объектах МО РФ так же, как и котельные, создавались во второй половине XX века и находятся в неудовлетворительном состоянии, требуют замены и технической модернизации. Потери тепловой энергии через тепловую изоляцию в тепловых сетях достигают нескольких десятков процентов, что в несколько раз превышает нормативные значения. Кроме того, негативное влияние на экономические показатели оказывают устаревшие нерациональные схемные решения сетей. Изложенное определяет необходимость модернизации существующих тепловых сетей в рамках реконструкции или капитального ремонта.

Неудовлетворительное состояние угольных котельных и тепловых сетей стало одной из основных причин разработки ведомственной целевой программы модернизации теплового хозяйства объектов МО РФ на период 2016–2026 гг. В данной программе наряду с комплексом программных мероприятий по повышению эффективности систем теплоснабжения (капитальные ремонты котельных, ЦТП и тепловых сетей, оснащение абонентов узлами учета, газификация котельных и др.) значительное внимание уделено модернизации неэффективных угольных и жидкотопливных котельных с применением новых энергоэффективных угольных автоматизированных котлоагрегатов высокотемпературного кипящего слоя. По данным Департамента эксплуатационного содержания и обеспечения коммунальными услугами (ДЭС и ОКУ) МО РФ число таких котельных составляет более 90. Данные котельные не подлежат переводу на квалифицированное высокоэкологичное газообразное топливо вследствие отсутствия технической возможности подвода природного газа от магистральных газопроводов.

Строительство и реконструкция угольных котельных с котлами ВТКС, впрочем как и с механизированными и слоевыми котлами других типов, сопряжены со значительными материальными затратами, значения которых лежат в широком диапазоне от 15 до 20 млн. рублей на 1 Гкал/час установленной мощности в текущих ценах, в зависимости от состояния и габаритов здания реконструируемой котельной, здания и оборудования угольного склада, дымовой трубы, наличия систем механизации, углеподачи и шлакозолоудаления, газоочистки, а также в зависимости от степени автоматизации и механизации технологических процессов, типоразмеров применяемых котлов и вспомогательного оборудования. Все эти факты определяют не только объем капитальных затрат, но и в значительной степени влияют на степень совершенства технологических процессов в реконструированных и строящихся тепловых сетях и угольных котельных и, как следствие, влияют на величину годовых эксплуатационных расходов. Сопоставимые с котельными значения удельных капитальных затрат имеют место и для строительства и реконструкции тепловых сетей.

Начальные капиталовложения в строительство тепловых сетей и котельных соизмеримы с годовыми эксплуатационными расходами, их соотношение для большинства котельных составляет 1,1–1,6, а в некоторых случаях, и особенно для небольших котельных, повышается до 2–3 и более.

Материальные ресурсы на строительство и эксплуатацию систем теплоснабжения связаны между собой и в определенных пределах взаимозамещаемы. С внедрением в котельные установки новых технических решений, направленных на повышение тепловой экономичности котельных и тепловых сетей, капитальные затраты возрастают, а эксплуатационные расходы уменьшаются.

Изложенное обуславливает необходимость выполнения оценки технико-экономической эффективности капитальных вложений при выборе приоритетного варианта проектных ре-



шений. При рассмотрении нескольких вариантов сравнительная оценка известными методами, применяемыми на стадиях «Технико-экономическое обоснование» или «Обоснование инвестиций», становится трудоемкой.

Для принятия приоритетного решения о варианте реконструкции представляется желательным иметь некий более упрощенный инструментарий, с помощью которого можно было бы выполнять сравнительный анализ без подробных расчетов всех необходимых технико-экономических показателей. Вместе с тем, несмотря на упрощенность и простоту использования такого инструментария, ошибка в выборе решения должна быть сведена к минимуму. Другими словами, представляется актуальной задача разработки «экспресс-метода» сравнительной технико-экономической оценки эффективности капитальных вложений при строительстве и реконструкции угольных котельных объектов МО РФ.

Первым положительным результатом в решении сформулированной задачи стали разработки Б.И. Морозова на кафедре теплосиловых установок ВИТУ с использованием метода экономико-математического моделирования котельных с выражением математических зависимостей между основными показателями в виде производственных функций [4]. Применение этого метода позволяет решать задачи, связанные с взаимозамещаемостью и оптимальным распределением материальных ресурсов при проектировании и строительстве котельных установок.

Однако данные результаты носят общий характер для отопительно-производственных котельных малой и средней мощности при работе на газе и мазуте. В них не отражены особенности технологических процессов, нового оборудования, проектных решений, характерных для угольных котельных именно малой мощности с учетом внедрения технологии сжигания угля в ВТКС.

Важным шагом в решении сформулированной задачи явилась кандидатская диссертация И.С. Роды, в которой разработаны методы экспресс-оценки технико-экономической эффективности строительства и реконструкции угольных котельных по технологии высокотемпературного кипящего слоя. Однако в ней не учитывалась экономия годовых эксплуатационных расходов за счет комплексной автоматизации топочных процессов в новых котлах, а также не рассматривались вопросы технико-экономической эффективности строительства и реконструкции тепловых сетей.

Изложенное определяет актуальность научно исследовательской работы на тему «Оценка технико-экономической эффективности модернизации систем теплоснабжения объектов МО РФ с реконструкцией угольных котельных по технологии высокотемпературного кипящего слоя с комплексной автоматизацией технологических процессов на основе методов экономико-математического моделирования».

Для реализации сформулированной цели представляется необходимым решение следующих частных задач:

- сбора, предварительной обработки и анализа статистического материала по технико-экономическим показателям проектных решений строительства и реконструкции тепловых сетей и автоматизированных котельных установок с применением котлов ВТКС для объектов МО;
- построения экономико-математической модели системы теплоснабжения с котельными, оснащенными автоматизированными котлами ВТКС;
- построения и расчета производственных функций тепловых сетей и котельных;
- разработки методики экспресс-оценки технико-экономической эффективности капитальных вложений при строительстве и реконструкции угольных котельных по технологии высокотемпературного кипящего слоя на основе теории производственных функций.

В настоящее время в Военном институте (инженерно-техническом) по заданию ДЭС и ОКУ МО РФ выполняется НИР шифр «Энергоэффективность» по данному направлению. В рамках этой НИР выполнены работы по первому этапу «Сбор, обобщение исходных данных

по существующим котельным и тепловым сетям на объектах МО РФ по представленной технической документации и в ходе натурного обследования».

Сбор информации выполнялся по двум направлениям:

- натурное обследование девяти котельных и тепловых сетей;
- разработка специальных анкет, рассылка их на объекты, заполнение анкетных данных эксплуатационным персоналом, сбор и анализ заполненных анкет.

По первому направлению обследовано две котельные в Камчатском крае (пос. Ключи), одна котельная в Красноярском крае (пос. Козулька) и ряд котельных в Ленинградской области (пос. Ваганово, Глебычево, Мяглово, Агалатово, г. Выборг, дер. Керстово).

Натурное обследование проводилось методом выезда на действующие системы теплоснабжения (СТС), собеседования с ведущими специалистами АО «ГУ ЖКХ» по эксплуатации и изучения технической документации. В ходе обследования была получена информация по состоянию котельных, тепловых сетей, вспомогательного оборудования, ввода в эксплуатацию, структуры СТС, обслуживающего персонала.

По второму направлению разработанные анкеты и рекомендации по их заполнению разосланы через ДЭС и ОКУ МО РФ на 93 объекта СТС по всем военным округам.

В настоящее время получены заполненные анкеты по нижеприведенным объектам для их обработки и технико-экономического анализа:

- Ивановская область, ОП «Верхневолжское» АО ГУ ЖКХ – 3 шт.;
- Забайкальский край, ОП «Забайкальское» АО ГУ ЖКХ – 18 шт.;
- Республика Бурятия, ОП «Бурятское» АО ГУ ЖКХ – 13 шт.;
- Иркутская область, ОП «Иркутское» АО ГУ ЖКХ – 4 шт.;
- Калининградская область, ОП «Калининградское» АО ГУ ЖКХ – 1 шт.;
- Камчатский край, ОП «Камчатское» АО ГУ ЖКХ – 3 шт.;
- Красноярский край, ОП «Красноярское» АО ГУ ЖКХ – 4 шт.;
- Мурманская область, ОП «Мурманское» АО ГУ ЖКХ – 3 шт.;
- Нижегородская область, ОП «Нижегородское» АО ГУ ЖКХ – 1 шт.;
- Новосибирская область, ОП «Новосибирское» АО ГУ ЖКХ – 11 шт.;
- Пензенская область, ОП «Пензенское» АО ГУ ЖКХ – 1 шт.;
- Псковская область, ОП «Псковское» АО ГУ ЖКХ – 1 шт.;
- Ростовская область, ОП «Ростовское» АО ГУ ЖКХ – 2 шт.;
- Самарская область, ОП «Самарское» АО ГУ ЖКХ – 2 шт.;
- Московская область, ОП «Солнечногорское» АО ГУ ЖКХ – 2 шт.;
- Уссурийская область, ОП «Уссурийское» АО ГУ ЖКХ – 5 шт.;
- Хабаровский край, ОП «Хабаровское» АО ГУ ЖКХ – 7 шт.;
- Челябинская область, ОП «Челябинское» АО ГУ ЖКХ – 1 шт.;
- ОП «Южно-Сахалинское», АО ГУ ЖКХ – 4 шт.

Сведения о системах теплоснабжения, количестве котлов и видах используемых ресурсов в котельных установках обследованных военных городков и объектов МО РФ из анкетных данных приведены в табл. 1 и 2.

На 93 обследованных объектах МО РФ установлено 609 котлов (как правило, с ручным обслуживанием), что в среднем составляет более 6 котлов в котельной. На некоторых из них количество котлов достигает 18 шт. Установка в котельной большого количества котлов небольшой производительности значительно осложняет их обслуживание и осуществление контроля за топочными процессами, что, в свою очередь, снижает экономичность использования топлива.

Годовой расход натурального топлива по всем объектам из анкетных данных составляет 256764,4 тыс. т., что при суммарной годовой выработке тепловой энергии в объеме 195010,3 тыс. Гкал., определяет средневзвешенный коэффициент использования топлива не более 35 %.

Таблица 1

## Результаты обследования систем теплоснабжения по военным округам

Технико-экономические показатели			Военный округ				
			Восточный	Западный	Централь- ный	Южный	ИТОГО
Количество котельных			50	16	25	2	93
Теплопроизводительность Гкал/час	Q		579,04	129,36	297,93	17,908	1024,23
Паропроизводительность т. пара/час	Д		423,42	82	226,5	28,02	759,94
Количество котлов			380	89	129	11	609
Годовая выработка теплоты тыс.Гкал			191731,0	113,9	3156,8	8,6	195010,3
Годовой расход топлива	Натураль- ного	факт, тыс.т	156459,0	34292,0	63777,8	2235,6	256764,4
	Условного	факт, тыс.т.у.т.	138159,0	36928,4	44373,5	2501,8	221962,7
Элек- тро- энергия	Электрическая мощность токоприемников	кВт	12705,3	2144,5	4487,4	158,6	19495,7
Вода	Расход	тыс.м <sup>3</sup>	3873,6	2563,1	1720,0	99,7	8256,4
Канали- зация	Расход	тыс.м <sup>3</sup>	318,8	228,9	1274,3	20,0	1541,9

Таблица 2

## Результаты обследования типа прокладки тепловых сетей по военным округам

Количество котельных		Военный округ					
		Диаметры трубопро- водов, мм	Восточный	Западный	Централь- ный	Южный	ИТОГО
			50	16	25	2	93
Тип прокладки тепловой сети, км	Подземная бесканальная	100	52,33	10,76	43,61	1,50	108,2
		100–150		7,63	20,21	0,36	28,2
		200–250	42,47	0,96	10,43	–	53,9
		300–350	–	0,22	4,09	–	4,3
		400–500	6,14	–	–	–	6,1
	Подземная канальная	100	350,09	3,20	11,35	3,39	368,0
		100–150	82,81	1,65	13,76	1,91	100,1
		200–250	27,00	0,38	0,36	–	27,7
		300–350	5,29	–	–	–	5,3
		400–500	2,28	–	0,04	–	2,3
	Надземная	100	17,95	37,59	90,00	–	145,5
		100–150	8,04	19,76	42,10	–	69,9
		200–250	6,82	5,83	19,05	–	31,7
		300–350	0,07	1,48	5,15	–	6,7
		400–500	3,142	–	4,36	–	7,5

Тепловые сети имеют в основном подземную канальную и бесканальную прокладку с диаметром трубопроводов до 150 мм. Общая протяженность тепловых сетей СТС составляет 965 км.

Анализ полученных анкетных данных показал, что 70 объектов систем теплоснабжения, подлежащие реконструкции, находятся в регионах Урала, Сибири и Дальнего Востока и 23 объекта находятся в Центральном и Южном регионах России.

Представляет практический интерес разделение всех объектов на группы по величине тепловых нагрузок. Для этой цели необходимо сформировать несколько групп тепловых мощностей котельных 3 Гкал/час, 4,5 Гкал/час, 6 Гкал/час, 7,5 Гкал/час и 9 Гкал/час с 2, 3, 4, 5, и 6 с котлами КВП-1,74 ВТКС единичной мощностью 1,5 Гкал/час соответственно. Тогда в группу тепловых мощностей до 3 Гкал/час попадают 17 обследованных котельных; с 3 до 4,5 Гкал/час – 12 котельных, с 4,5 до 6 Гкал/час – 18 котельных, с 6 до 7,5 Гкал/час – 13 котельных; с 7,5 до 9 Гкал/час – 3 котельных; более 9 Гкал/час – 31 котельная.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ материала настоящей работы показал, что задача разработки методики экспресс-оценки технико-экономической эффективности капитальных вложений при строительстве и реконструкции систем теплоснабжения с автоматизированными угольными котельными с котлами высокотемпературного кипящего слоя на объектах МО РФ является актуальной. Для решения такой задачи перспективным представляется применение математического аппарата теории производственных функций. В ВИ(ИТ) ВА МТО на кафедре двигателей тепловых установок выполнена работа по сбору, обработке и анализу технико-экономических показателей котельных и тепловых сетей на 93 объектах МО РФ. Результаты данной работы могут быть положены в основу дальнейших исследований по разработке специальных производственных функций и методики оценки технико-экономической эффективности.

## Список используемых источников

1. *Смирнов А.В., Юферев Ю.В., Балабан А.В.* Рекомендации по пуско-наладочным испытаниям и режимным настройкам котлоагрегатов малой мощности // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2001. – №1. – С. 52–54.
2. Результаты режимной наладки и теплобалансовых испытаний котлоагрегата малой мощности КВП-1,74-ВТКС для сжигания низкосортных углей в высокотемпературном кипящем слое / А.В. Бондарев, А.В. Смирнов, С.А. Кныш, М.А. Карпов, Д.А. Проскуряков // Инженерные системы. – 2008. – № 37.
3. *Смирнов А.В., Рода К.С., Проскуряков Д.А.* Принципиальные проектные решения и практический опыт реконструкции угольных котельных малой мощности по технологии высокотемпературного кипящего слоя // Инженерные системы. – 2007. – № 4 (31). – С. 50–56.
4. *Морозов Б.И.* Использование экономико-математических методов для оценки характеристик отопительно-производственных котельных // Военная наука и образование – городу: тез. докл. 1 Городск. научн.-практич. конф. 20–22 мая 1997 г. –1997. – Ч.1. – С. 186.

В.В. Алейник,  
кандидат военных наук, доцент;  
Н.С. Кужекин,  
кандидат философских наук, профессор;  
В.В. Мышко,  
кандидат техн. наук, доцент;  
В.А. Чикуров,  
кандидат техн. наук, доцент

## ОЦЕНИВАНИЕ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКОВ ВОЕННО-УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ В ХОДЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Изложены общие требования и основные этапы государственной итоговой аттестации выпускников вуза, порядок формирования фонда оценочных средств для государственной итоговой аттестации, а также приводятся конкретные примеры и практические рекомендации наполнения элементов основной профессиональной образовательной программы с учетом проведенного первого выпуска обучающихся, освоивших образовательные программы специалитета, разработанные на основе компетентностного подхода.

Ключевые слова: компетентность, компетенции, формирование и оценивание компетенций, подготовка военных специалистов, фонд оценочных средств, государственная итоговая аттестация.

Основным видом деятельности военно-учебных заведений является образовательная деятельность по реализации основных профессиональных образовательных программ [1]. Требования к организации подготовки специалистов формируются с учетом федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) [1], квалификационных требований (КТ) к военно-профессиональной подготовке, профессиональных стандартов (рис. 1) и др.



Рис. 1. Схема взаимодействия вузов и органов военного управления

В системе высшего образования в вузах МО РФ в процессе образовательной деятельности по реализации основных профессиональных образовательных программ главное внимание уделяется фундаментальности подготовки специалиста, направленной на возможность выполнения трудовых функций. Такая подготовка позволяет освоить за короткий промежуток времени должностные и специальные обязанности военнослужащего.

Основные профессиональные образовательные программы разрабатывает выпускающая кафедра по соответствующей специальности в виде комплекта документов: общей характеристики основных профессиональных образовательных программ; матрицы компетенций; учебного плана, включающего в себя календарный учебный график, сводные данные по бюджету времени; рабочих программ учебных дисциплин (модулей) и программ практик, включающих фонды оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по соответствующей дисциплине (модулю) или практике; тематических планов изучения дисциплин (модулей); программ государственной итоговой аттестации (отдельно для каждого вида аттестационных испытаний), включающих фонды оценочных средств для государственной итоговой аттестации (в части, касающейся конкретного вида аттестационных испытаний); методических материалов, являющихся дополнением к рабочим программам учебных дисциплин (модулей).

С целью подготовки выпускника к эксплуатационной деятельности в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского разработана и внедрена Концепция непрерывной эксплуатационной подготовки курсантов [2], в которой определен перечень актуальных задач эксплуатации, к решению которых должен быть подготовлен выпускник. Например, к задачам, требующим управленческой компетентности выпускника, относится разработка:

- методов управления эксплуатацией вооружения;
- методов и алгоритмов управления состоянием вооружения в системе эксплуатации;
- методов и алгоритмов управления персоналом в системе эксплуатации вооружения.

Результатом освоения выпускниками основных профессиональных образовательных программ является формирование компетенций, установленных ФГОС и КТ к военно-профессиональной подготовке выпускника, уровень освоения которых оценивается в ходе проведения государственной итоговой аттестации (ГИА).

Государственная итоговая аттестация обучающихся в военно-учебных заведениях организуется и проводится в соответствии со ст. 59 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 29 июня 2015 г. № 636 «Об утверждении Порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры» [1], приказом Министра обороны Российской Федерации от 15 сентября 2014 г. № 670 «О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [1] и методическими рекомендациями по проведению государственной итоговой аттестации в военных образовательных организациях высшего образования МО РФ [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Государственная итоговая аттестация проводится государственными экзаменационными комиссиями в форме государственных аттестационных испытаний и включает (рис. 2) государственный междисциплинарный экзамен (экзамен по специальной дисциплине), государственный экзамен по физической культуре (физической подготовке), защиту выпускной квалификационной работы (защиту дипломной работы (проекта), защиту магистерской диссертации) [5]. Целью работы государственной экзаменационной комиссии является определение соответствия результатов освоения выпускниками основных профессиональных образовательных программ требованиям ФГОС и КТ, а также выработка рекомендаций по совершенствованию образовательного процесса вуза.



Рис. 2. Состав государственных аттестационных испытаний

Для проведения ГИА вузом разрабатываются программы по каждому виду испытания.

Государственные аттестационные испытания (оценивание сформированности компетенций) направлены на определение степени всесторонней развитости выпускника, в том числе его физической готовности, способности правильно находить решение поставленной задачи и готовность исполнять свои обязанности по предназначению (рис. 3).

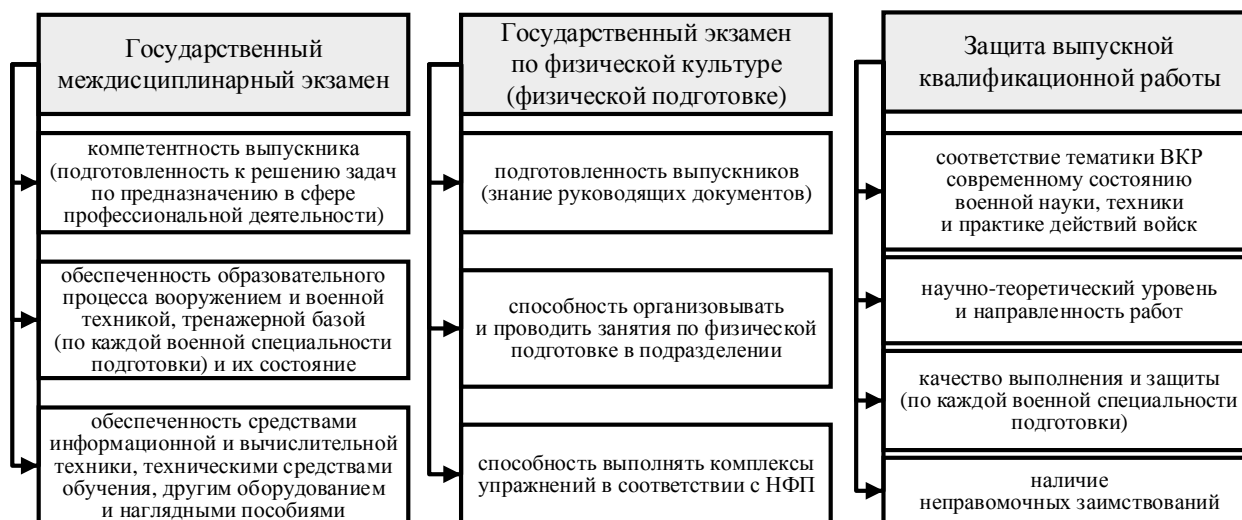


Рис. 3. Основные критерии оценивания сформированности компетенций

В программе государственной итоговой аттестации обучающихся указываются [1]:

- вид аттестационного испытания;
- специальность (направление подготовки);
- цель аттестационного испытания;
- требования к результатам освоения обучающимися основной профессиональной образовательной программы по специальности (направлению подготовки), проверяемые в ходе аттестационного испытания;
- условия допуска к аттестационному испытанию;
- период проведения;

- порядок организации и проведения;
- характеристика содержательной части основной профессиональной образовательной программы, подлежащей проверке в ходе аттестационного испытания;
- описание учебно-методического и материально-технического обеспечения, разрешенного для использования обучающимися в ходе процедуры аттестационного испытания, и условий его использования;
- методика и критерии оценки;
- требования к содержанию аттестационных материалов.

Оценивание уровня сформированности компетенций рассмотрим на примере государственного междисциплинарного экзамена (ГМЭ), который проводится по одной или нескольким дисциплинам основной профессиональной образовательной программы и позволяет оценить уровень сформированности компетенций, необходимых выпускнику для выполнения своих обязанностей по занимаемой должности.

Программа ГМЭ разрабатывается выпускающими кафедрами [7], рассматривается на заседании ученого совета (совета) вуза (факультета), согласовывается с руководителем органа военного управления, в интересах которого осуществляется подготовка обучающихся, утверждается начальником вуза и доводится до обучающихся не позднее, чем за полгода до начала государственной итоговой аттестации.

Важнейшим компонентом ГМЭ является фонд оценочных средств (ФОС) для государственной итоговой аттестации, который включает в себя [1]:

- перечень компетенций, которыми должны овладеть обучающиеся в результате освоения основной профессиональной образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций, а также шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения основной профессиональной образовательной программы;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов освоения основной профессиональной образовательной программы.

Фонд оценочных средств для государственной итоговой аттестации [6] подводит итог обучения, оценивая качество подготовки выпускников вузов, и формируется на основе следующих принципов оценивания:

- валидности (предмет и содержание оценивания должны соответствовать поставленным целям обучения и контроля);
- надежности (использование единообразных стандартов и критериев оценивания);
- объективности (нацеленность используемых методов и средств контроля на объективность и прозрачность оценивания);
- эффективности (оптимальность выбора методов и средств контроля для конкретных условий и предметной области);
- своевременности (поддержание развивающей обратной связи).

Опыт формирования ФОС для государственной итоговой аттестации при разработке основных профессиональных образовательных программ в академии показал, что качественно выполнить все требования в процессе их проектирования возможно только квалифицированной группой разработчиков, состоящей из опытных методистов, владеющих методологией проектирования на основе компетентностного подхода, и специалистов в предметной области, отвечающих за разработку ФОС и основных профессиональных образовательных программ в целом. Для поддержания ФОС в актуальном состоянии необходимо учитывать опыт проведения предыдущих итоговых аттестаций.

Рассмотрим опыт оценивания уровня сформированности компетенций выпускников военно-учебного заведения по программе специалитета в ходе государственной итоговой аттестации на примере программы ГМЭ по специальности «Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения».



Целью ГМЭ является определение степени соответствия военно-профессиональной подготовленности выпускника квалификационным требованиям и требованиям ФГОС высшего образования по специальности «Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения», а также контроль знаний, умений и навыков, полученных курсантами при изучении дисциплины «Тактика вида (рода) войск Вооруженных Сил Российской Федерации», необходимых офицеру Воздушно-космических сил для организации действий подчиненных подразделений и управления ими при подготовке и выполнении задач по предназначению в различных условиях обстановки.

Государственный междисциплинарный экзамен проводится по дисциплинам: «Автоматизированная обработка телеметрической информации», «Автоматизированные системы специального назначения», «Эксплуатация автоматизированных систем специального назначения», «Тактика вида (рода) войск Вооруженных Сил Российской Федерации», являющихся основой:

– теоретического изучения принципов построения, функционирования, применения и эксплуатации изученных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), а также тактики (применения) частей и подразделений Космических войск;

– практического применения приобретенных навыков по применению специального тематического обеспечения и эксплуатации ВВСТ в повседневной деятельности выпускника при выполнении обязанностей по должностному предназначению.

Определяющее значение в формировании выпускника как будущего специалиста имеют практические навыки по эксплуатации современных образцов вооружения и военной техники, которые подтверждаются оцениванием уровня освоения профессиональных компетенций, установленных федеральным государственным образовательным стандартом и квалификационными требованиями к военно-профессиональной подготовке выпускников (индексы компетенций – условные):

– способность осуществлять инсталляцию, настройку и техническое сопровождение программного обеспечения, администрирование и актуализацию информационных ресурсов автоматизированных систем специального назначения (ПК-1, *соответствующая эксплуатационной деятельности*);

– способность организовывать эксплуатацию автоматизированных систем специального назначения (ПК-2, *соответствующая организационно-управленческой деятельности*);

– способность управлять действиями подразделений при выполнении задач по предназначению в мирное и военное время, организовывать и осуществлять руководство мероприятиями, направленными на поддержание боевой готовности, боевого обеспечения и восстановления боеспособности подчиненного подразделения [ВПК.ПК-3, *соответствующая служебной (повседневной и боевой) деятельности*];

– способность организовывать и нести дежурство на комплексах автоматизации обработки информации и управления космическими средствами (ВПК.ПСК-4, *профессионально-специализированная компетенция*).

Государственный междисциплинарный экзамен проводится в форме выполнения комплексных квалификационных заданий, объединенных единым замыслом ситуационных задач, решение которых позволяет экзаменационной комиссии объективно оценить уровень сформированности компетенций выпускника.

В соответствии с дисциплинами, выносимыми на ГМЭ, комиссия оценивает уровень сформированности у выпускника компетенций, которые должны позволить выпускнику решать обобщенные (типовые) задачи при исполнении должностных обязанностей по предназначению.

Комплексное квалификационное задание включает в себя:

1) характеристику оперативно-тактической обстановки – тактический фон, на котором выполняется задание;

2) ситуационную задачу, решение которой позволяет оценить:

– знание выпускником противника, своих сил и средств, основ тактики частей и подразделений управления КА, требований действующих приказов и директив по боевой готовности, боевому дежурству, обеспечению боевых действий;

– умение выпускника анализировать обстановку, проводить оперативно-тактические расчеты, оформлять графические боевые документы, делать выводы и готовить предложения по результатам расчетов, методически грамотно строить устные доклады;

3) теоретические вопросы для собеседования:

– по основам тактики и боевого применения частей и подразделений управления КА;

– по принципам построения и функционирования изученных образцов вооружения и военной техники, их применения и эксплуатации;

4) ситуационную задачу на выполнение практических действий по применению образцов вооружения и военной техники, их техническому обслуживанию, приведению в исходное состояние, развертыванию и т. п.

Результаты сдачи экзамена определяются оценками «отлично» (5), «хорошо» (4), «удовлетворительно» (3), «неудовлетворительно» (2).

Оценка за ГМЭ определяется результатом:

– выполнения ситуационной задачи № 1;

– собеседования по теоретическим вопросам;

– решения ситуационной задачи № 2.

По результатам сдачи экзамена с отдельной проверкой теоретических знаний и практической подготовленности курсанту выставляется общая оценка по определенным правилам [7], которые в общем виде представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Правила выставления общей оценки по результатам проверки теоретических знаний и практической подготовленности**

Показатель		Критерии и шкала оценивания показателя	Оцениваемая компетенция
Индекс	Наименование		
П 1	Ситуационная задача № 1	«ОТЛИЧНО» – если ...	ПК-1 ВПК.ПК-3
		«ХОРОШО» – если ...	
		«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – если ...	
		«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – если задание не выполнено из-за отсутствия у обучающегося необходимых знаний, умений и навыков	
П 2	Собеседование по теоретическим вопросам	«ОТЛИЧНО» – если ...	ПК-2 ВПК.ПК-3 ВПК.ПСК-4
		«ХОРОШО» – если ...	
		«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – если ...	
		«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – если теория вопросов и фактический материал учебной дисциплины (ее части, раздела) не усвоены обучающимся и в ответе не раскрыты	
П 3	Ситуационная задача № 2	«ОТЛИЧНО» – если ...	ПК-1 ПК-2 ВПК.ПСК-4
		«ХОРОШО» – если ...	
		«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – если ...	
		«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – если ..., либо грубо нарушены требования безопасности	

Итоговая оценка по результатам сдачи ГМЭ выставляется по четырехбалльной шкале, приведенной ниже (табл. 2).

Компетенции, носящие междисциплинарный характер, выбираются из матрицы компетенций и включаются в программу государственного аттестационного испытания. При оценивании уровня сформированности каждой компетенции используются элементы соответствующих оценочных средств (табл. 3).

Таблица 2

**Формирование итоговой оценки по результатам сдачи ГМЭ**

Показатель	Шкала и критерии оценивания			
	«отлично»	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
Ситуационная задача № 1	Все показатели оценены на «отлично»; один из показателей оценен на «хорошо» остальные на «отлично»	Все показатели оценены на «хорошо»; один из показателей оценен на «удовлетворительно», остальные на «хорошо» и «отлично»; один из показателей оценен на «отлично», остальные на «хорошо»	Все показатели оценены на «удовлетворительно»; не более чем по одному из показателей получена оценка «неудовлетворительно»	Не выполнены условия на оценку «удовлетворительно»
Собеседование по теоретическим вопросам				
Ситуационная задача № 2				

Таблица 3

**Использование матрицы компетенций при формировании ФОС**

Элемент ККЗ (материалы оценочных средств)	Компетенция			
	ПК-1	ПК-2	ВПК.ПК-3	ВПК.ПСК-4
Ситуационная задача № 1	+		+	
Теоретический вопрос 1		+	+	
Теоретический вопрос 2			+	+
Ситуационная задача № 2	+	+		+

Уровень сформированности компетенции определяется средним баллом полученных оценок за решение ситуационных задач и собеседование по теоретическим вопросам.

В зависимости от среднего балла определяются следующие уровни сформированности компетенции: компетенция сформирована (высокий уровень), компетенция сформирована в основном (средний уровень), компетенция сформирована частично (пороговый уровень), компетенция не сформирована (допороговый уровень).

По результатам сдачи ГМЭ уровни сформированности компетенций определяются в соответствии с табл. 4.

Полученные результаты позволяют оценить в ходе ГИА уровень сформированности компетенций выпускника-специалиста в системе высшего образования и его готовность к выполнению им необходимых трудовых функций. Важно, чтобы военно-профессиональная подготовка выпускника по ФГОС соответствовала профессиональному стандарту (КТ к военно-профессиональной подготовке выпускника) заказчика подготовки специалиста.

Состав значимых компетенций, уровень сформированности которых необходимо проверить в ходе ГИА, в идеале должен быть определен заказчиком исходя из требований профессиональных стандартов.

Таблица 4

## Оценивание уровня сформированности компетенций

Индекс компетенции	Оцениваемый показатель	Уровни сформированности компетенций			
		Компетенция сформирована	Компетенция сформирована в основном	Компетенция сформирована частично	Компетенция не сформирована
ПК-1	П 1 П 3	Средний балл по показателям больше либо равен 4,5	Средний балл по показателям меньше 4,5 и нет оценок «неудовлетворительно»	Допускается оценка «неудовлетворительно» по одному из показателей, при этом средний балл по показателям не меньше 3,0	Не выполнены условия для порогового уровня
ПК-2	П 2 П 3	Средний балл по показателям больше либо равен 4,5	Средний балл по показателям меньше 4,5 и нет оценок «неудовлетворительно»	Допускается оценка «неудовлетворительно» по одному из показателей, при этом средний балл по показателям не меньше 3,0	Не выполнены условия для порогового уровня
ВПК.ПК-3	П 1 П 2	Средний балл по показателям больше либо равен 4,5	Средний балл по показателям меньше 4,5 и нет оценок «неудовлетворительно»	Допускается оценка «неудовлетворительно» по одному из показателей, при этом средний балл по показателям не меньше 3,0	Не выполнены условия для порогового уровня
ВПК.ПСК-4	П 2 П 3	Средний балл по показателям больше либо равен 4,5	Средний балл по показателям меньше 4,5 и нет оценок «неудовлетворительно»	Допускается оценка «неудовлетворительно» по одному из показателей, при этом средний балл по показателям не меньше 3,0	Не выполнены условия для порогового уровня

В настоящее время выбор дисциплин, выносимых на ГМЭ, и компетенций, проверяемых в ходе ГИА, в определенной степени носит субъективный характер, зависит от составителя программ испытаний и требований, изложенных в КТ к военно-профессиональной подготовке выпускника.

Формирование компетенции далеко не всегда может быть прямо соотнесено с освоением определенной дисциплины или группы дисциплин. Компетенции формируются комплексно в ходе всех форм учебной работы обучающегося.

Достижение обучающимся запланированных результатов обучения по всем элементам основных профессиональных образовательных программ в совокупности должно обеспечить ему на выпуске тот уровень развития компетенций, который был заявлен при разработке основной профессиональной образовательной программы как ее основная цель.

Очевидно, что уровень развития компетенций у выпускника будет зависеть от тесного взаимодействия военно-учебного заведения с заказчиком подготовки специалиста, периодичности и качества разработки КТ к военно-профессиональной подготовке выпускника. Всё это в значительной степени повлияет на уровень квалификации специалиста, которому тот обязан соответствовать при исполнении должностных обязанностей.

Таким образом, по мнению авторов, выполнение кадрового заказа на подготовку специалистов зависит от качественной и своевременной подготовки основных профессиональных образовательных программ с участием заказчика подготовки специалиста с учетом тенденций развития современного вооружения и военной техники.

Опыт оценивания уровня сформированности компетенций выпускников военно-учебного заведения в ходе государственной итоговой аттестации по специальности «Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения» при проведении государственного междисциплинарного экзамена на основе компетентностного подхода носит обобщенный характер, может быть применен для проведения ГИА по другим специальностям подготовки, а также на государственном экзамене по физической культуре (физической подготовке) или защите выпускной квалификационной работы.

### Список используемых источников

1. Об утверждении Порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры: Приказ Министерства образования и науки РФ от 29 июня 2015 г. № 636. – URL: [www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71045690](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71045690) (дата обращения: 31.01.2017).

2. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»: Приказ Министра обороны Российской Федерации № 670 от 15 сентября 2014 года. – URL: <https://tg.ru/2014/12/30/minoborony-dok.html> (дата обращения: 31.01.2017).

3. Методические рекомендации по проведению государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам специалитета, программам магистратуры, образовательным программам среднего профессионального образования в военных образовательных организациях высшего образования и профессиональных образовательных организациях Министерства обороны Российской Федерации в 2017 году / МОРФ. – СПб.: [б. и.], 2016. – 63 с. – Исх. №173/УВО/2/6796.

4. Информационный бюллетень № 105. Концепция подготовки специалистов по эксплуатации комплексов космических средств / под общ. ред. Н.С. Кужекина. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – 36 с.

5. *Чикуров В.А., Кравцов А.Н., Зиновьев В.Г.* Особенности работы государственной экзаменационной комиссии по организации и проведению государственной итоговой аттестации // Информационный бюллетень № 128. Особенности организации государственной итоговой аттестации выпускников академии / под общ. ред. И.Ю. Воронкова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 38 с.

6. *Кужекин Н.С., Чикуров В.А., Зиновьев С.В.* Фонд оценочных средств как компонент основной образовательной программы // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. № 648. – С. 202–209.

7. Программа государственной итоговой аттестации по специальности «Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения», по военной специальности «Автоматизированная обработка и анализ информации космических средств». Государственный междисциплинарный экзамен. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016.

Ю.М. Богук,

*кандидат военных наук;*

М.А. Голубев,

*кандидат военных наук;*

Н.С. Кужекин,

*кандидат философских наук, профессор*

## **МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН В ВОЕННО-УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ НА ОСНОВЕ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В ОБРАЗОВАНИИ**

В работе представлено научно-методическое обоснование методики проектирования учебных дисциплин при подготовке военных специалистов в военно-учебных заведениях Министерства обороны Российской Федерации в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов. В методике раскрыты исходные данные, необходимые для планирования образовательного процесса, и определены основные этапы работы специалистов и экспертов при формировании модели проектирования учебных дисциплин.

Ключевые слова: модель проектирования учебных дисциплин, научно-методическое обоснование методики проектирования учебных дисциплин, компетенция.

Политика военного строительства, проводимая Президентом Российской Федерации в сложных условиях современной геополитической обстановки, может иметь полный успех в том случае, если существующая система военного образования обеспечит подготовку военных специалистов с необходимым качеством. Это становится очевидным, если иметь в виду основную цель этой политики, которая состоит в модернизации Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ), поставке в войска современных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и автоматизированных систем управления. Реализация такой стратегической цели требует современных подходов к подготовке военных специалистов, в том числе и в системе военного образования. Должностные лица органов управления военным образованием и руководители военно-учебных заведений (вузов) решают два важнейших вопроса: «Чему учить?» и «Как учить?». Первый вопрос решен органами управления Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ) во взаимодействии с Министерством образования и науки Российской Федерации при разработке федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) и квалификационных требований к военно-профессиональной подготовке выпускников вузов. Решение же второго вопроса в большей мере решается на уровне руководителей вузов и их структурных подразделений в ходе разработки и реализации основных профессиональных образовательных программ (ОПОП), которые разрабатываются на каждую специальность [1]. При этом в целях отражения достижений военной науки, техники и передового опыта войск (сил), результатов анализа отзывов на выпускников вуза из войск (сил) вуз имеет право вносить в учебные планы следующие изменения [2]:

– вводить (исключать) дисциплины базовой и вариативной частей ОПОП при условии обеспечения выполнения установленных требований к результатам ее освоения;

– перераспределять время между дисциплинами базовой и вариативной частей ОПОП в пределах, установленных ФГОС;

– вводить (исключать) в дисциплину новые темы, перераспределять время на ее изучение между периодами обучения, а также по темам и видам занятий, но не более 25 % отведенного на нее времени;

– вводить в модуль новые дисциплины и практики, перераспределять время на их изучение в пределах модуля между периодами обучения, а также по темам и видам занятий при условии выполнения установленных требований к результатам освоения модуля.

Внесение данных изменений позволяет актуализировать ответы на вопросы «Чему учить?» и «Как учить?». Вопрос «Чему учить?» без риска допустить значительную ошибку может быть разрешен эвристически на основе предложений, выработанных на кафедральных совещаниях. Ответ на второй вопрос: «Как учить?» требует применения научно обоснованных способов корректировки, так как в противном случае неизбежны ошибки, значительно снижающие качество подготовки военных специалистов. Следовательно, в ходе организации обучения на кафедрах встает вопрос о формировании модели проектирования учебных дисциплин, так как она в полной мере может решить дидактическую составляющую проблематики подготовки специалистов.

Таким образом, с целью повышения качества подготовки обучающихся необходимо решить вопрос об объективном распределении ресурса учебного времени между темами занятий внутри каждой учебной дисциплины. Затем необходимо решить вопрос о распределении времени между видами занятий по каждой изучаемой теме учебной дисциплины. Такая работа в соответствии с требованиями [2] проводится в вузах ежегодно. Заметим, что в реальной практике она организуется кафедрами и предметно-методическими комиссиями без необходимого научно-методического обоснования и основывается, как правило, на личном опыте отдельных преподавателей, что в конечном счете ведет к субъективизму и снижению качества подготовки специалистов.

В настоящее время нет обоснованных методик, позволяющих сформировать научно обоснованную модель проектирования учебных дисциплин (МПУД) при подготовке военных специалистов на основе компетентного подхода в образовании. На наш взгляд, формирование такой модели может быть осуществлено на основе определения весов учебных тем занятий, составляющих учебную дисциплину (на первом этапе работы) и определения весов видов занятий (на втором этапе). Исходя из такого заключения, в статье предлагается методика формирования МПУД на основе экспертной оценки весов учебных тем занятий и видов занятий, проводимых при изучении каждой учебной темы [3, 4].

Предлагаемая методика для обоснования МПУД является двухуровневой. Она включает: на первом уровне – совокупность учебных тем дисциплины; на втором уровне – совокупность видов занятий, составляющих каждую учебную тему [4].

Суть модели состоит в следующем. В общем случае структура дидактической системы каждой из учебных дисциплин представляет собой совокупность входящих в нее учебных тем занятий, каждая из которых может характеризоваться определенным весовым коэффициентом. Исходя из этого, на первом уровне модель аналитически может быть описана выражением

$$\sum_{k=1}^m \Delta_k = 1, \quad (1)$$

где  $\Delta_k$ ,  $k \in I$ ,  $m$  – весовой коэффициент  $k$ -й учебной темы занятий дисциплины.

Вербальное описание модели проектирования на втором уровне исходит из того, что различные свойства, составляющие компетенции, формируемые у военных специалистов при обучении, приобретаются ими в ходе различных видов учебных занятий. Поясним этот тезис подробнее. Исходя из сущности компетентного подхода к обучению, под «компетенцией» следует понимать способность обучающегося применять приобретаемые знания, умения, навыки и личностные качества для успешной деятельности в определенной области [5].

При вербальном описании модели проектирования примем, что:

– формирование компетенций носит междисциплинарных характер, то есть каждая компетенция формируется при изучении нескольких дисциплин или одна дисциплина может принимать участие в формировании нескольких компетенций;

– в ходе изучения учебной темы дисциплины формируется часть компетенции.

Следовательно, компетенцию можно представить в виде совокупности составляющих, каждая из которых имеет свой вес, равный ресурсу времени, необходимому на ее приобретение.

Обозначим их следующим образом:

–  $\Delta_{j1}^k$  – вес, составляющий «знания» в структуре  $j$ -й компетенции;

–  $\Delta_{j2}^k$  – вес, составляющий «умения» в структуре  $j$ -й компетенции;

–  $\Delta_{j3}^k$  – вес, составляющий «навыки» в структуре  $j$ -й компетенции.

Под знаниями будем понимать отражение обучающимися в ходе занятий объективной действительности, реальности (устройство ВВСТ, требования уставов и т. д.). Под умениями – готовность обучающихся выполнять практические действия, согласованные с усвоенными теоретическими знаниями. Под навыками – компоненты практической деятельности обучающихся, позволяющие им самостоятельно применять теоретические знания и практические умения сообразно со сложившейся обстановкой, в рамках функциональных обязанностей.

Модель имеет смысл при введении нормировочной зависимости вида

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^3 \Delta_{ji}^{(k)} = 1, \quad (2)$$

где  $j$  – количество компетенций. Исходя из этого, с целью формирования МПУД встает вопрос об обосновании весов основных составляющих модели. Определив веса составляющих по каждой компетенции, мы сможем судить, сколько времени из общего бюджета дисциплины необходимо тратить на конкретные виды занятий. При этом «знания» – это теоретические занятия, «навыки» – практические занятия, а «умения» – комплексные занятия, полевые выходы, тактические учения и т. д.

Задача сводится к объективному определению значений весов тем учебных занятий (составляющих компетенции) с целью формирования МПУД. Решение сводится к реализации алгоритма, приспособленного к решению таких задач. Его целесообразно разбить на несколько этапов.

На *первом этапе* формируется цель (постановка задачи экспертам), заключающаяся в определении весов  $m$  учебных тем занятий (составляющих компетенции).

На *втором этапе*:

– назначается необходимое число экспертов ( $h$ ), и из их ответов формируются строки матриц в приведенных ниже выражениях, означающие веса каждой учебной темы занятий ( $k$ ) или каждой составляющей по темам занятий ( $kj$ ):

$$Y_k = [\alpha_{1k}, \alpha_{2k}, \dots, \alpha_{hk}], \quad (3)$$

$$Y_k = [\alpha_{1j}^{(k)}, \alpha_{2j}^{(k)}, \dots, \alpha_{hj}^{(k)}], \quad (4)$$

– находится среднее значение оценок группы по  $k$ -й теме ( $j$ -й компетенции в  $k$ -й теме):

$$\bar{\alpha}_k = \frac{\sum_{i=1}^h \alpha_{ik}}{h}; \bar{\alpha}_j^{(k)} = \frac{\sum_{i=1}^h \alpha_{ij}^{(k)}}{h} \quad (5)$$



Вычисляя отклонения оценок экспертов от средних значений по каждой теме и по каждой составляющей компетенции по теме через вычисление средних отклонений оценок каждого эксперта по всем темам занятий и по всем составляющим тем, мы можем определить матрицу средних отклонений оценок экспертов по всем темам занятий по формуле

$$D = [\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_h], \quad (6)$$

а также матрицу средних отклонений оценок экспертов по всем составляющим компетенциям по темам занятий, используя выражение

$$D_j^{(k)} = [\Delta_{1j}^{(k)}, \Delta_{2j}^{(k)}, \dots, \Delta_{hj}^{(k)}], \quad j \in \overline{1,3}. \quad (7)$$

Перестановкой элементов в матрицах  $D$  и  $D_j^{(k)}$  упорядочивают элементы  $D$  и  $D_j^{(k)}$ , выстраивая их в порядке возрастания.

В результате эксперты перенумеровываются в порядке  $l_1, l_2, \dots, l_h$  так, что  $\Delta_{l_i} \leq \Delta_{l_{i+1}}$ , и после вычисления коэффициента конкордации  $\Phi$  эксперт с номером  $l_h$  заменяется, если  $\Phi < 0,5$ . Аналогичные действия проводятся и при оценке согласования мнений эксперта по вопросу составляющих учебных тем.

На *третьем этапе*:

– определяются ранги тем учебных занятий  $k$  (составляющих учебных тем) в оценках эксперта с номером  $i$ :

$$\bar{\alpha}_{ik_1} = 1, \quad \bar{\alpha}_{ik_2} = 2, \dots, \quad \bar{\alpha}_{ik_m} = m, \quad (8)$$

и

$$\bar{\alpha}_{ik_1}^{(j)} = 1, \quad \bar{\alpha}_{ik_2}^{(j)} = 2, \dots, \quad \bar{\alpha}_{ik_m}^{(j)} = m, \quad j \in \overline{1,3}; \quad (9)$$

– весовой коэффициент темы с номером  $j$  находится по формуле

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^h \bar{\alpha}_{ij}}{\left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^h \bar{\alpha}_{ij} \right)}, \quad (10)$$

а составляющей с номером  $l$  темы  $j$  –

$$\alpha_j^l = \frac{\sum_{i=1}^h \bar{\alpha}_{ij}^{(l)}}{\left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^h \bar{\alpha}_{ij}^{(l)} \right)}. \quad (11)$$

На *четвертом этапе* проводится оценка согласованности экспертов:

– результаты ранжирования представляются в виде матрицы рангов;

– определяется сумма рангов  $Q_k$  по каждой  $k$ -й учебной теме занятий ( $kj$  – составляющей компетенции по учебной теме занятий) и средняя сумма рангов  $T$ :

$$Q_k = \sum_{i=1}^h \tilde{\alpha}_{ik}, \quad T = \frac{\sum_{i=1}^h \sum_{k=1}^m \tilde{\alpha}_{ik}}{m}; \quad (12)$$

– сумма квадратов отклонений от среднего значения ( $S_E$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$S_E = \sum_{k=1}^m \delta_k^2 = \sum_{k=1}^m (Q_k - T)^2, \quad (13)$$

где  $\delta_k$  – отклонение от среднего значения;

– коэффициент конкордации ( $\Phi$ ) определяется по формуле

$$\Phi = 12 \cdot S_E / \left( h^2 (m^3 - m) \right). \quad (14)$$

Практика оценки согласованности суждений экспертов при выявлении экспертов, мнения которых в наибольшей степени отклоняются от всех других, предполагает расчет коэффициента согласованности мнения каждого эксперта со всеми другими. Если таких менее 10%, то их оценки можно исключить и повторить расчет, а если их много, то нужно осуществить замену экспертов [6].

Предложенный подход для определения численных значений весов элементов модели позволяет объективно сформировать МПУД при подготовке военных специалистов.

Для обоснования подготовки военных специалистов выполняются расчеты весов всех элементов модели. При этом необходимо уяснить следующее. Основу подготовки обучающихся составляют знания, умения и навыки, эти качества выступают со стороны обучающего в виде исходных компонентов содержания, а со стороны обучающихся – продуктов усвоения.

Предложенный подход определения численных значений весовых коэффициентов составляющих компетенций обеспечит обоснованное распределение общего ресурса учебного времени дисциплины по видам учебных занятий по каждой изучаемой учебной теме.

Общий ресурс учебного времени необходимо делить между видами занятий сообразно со значениями весов соответствующих составляющих компетенций по каждой изучаемой учебной теме.

Таким образом, применение рассмотренной модели позволит реализовать единую систему проектирования учебных дисциплин, в которой на научной основе планируется формирование компетенций при освоении основных профессиональных образовательных программ обучающимися военно-учебного заведения.

### Список использованных источников

1. Голубев М.А., Воронков И.Ю., Крантовский В.И. Технология разработки образовательных программ: учеб. пособие / под ред. Н.С. Кужекина. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 80 с.

2. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»: Приказ Министерства обороны Российской Федерации от 15.09.2014 г. № 670. – URL: <http://base.garant.ru/70791866/> (дата обращения: 10.12.2016).

3. Матвеевский М.М. Оценивание уровня сформированности военно-профессиональных компетенций при подготовке специалистов в высшем учебном заведении // Вестник военного образования. – 2016. – № 3.

4. Мороз И.А., Бекетова М.Ю., Рыбалкин А.Н. Аналитический подход к формированию компетентностного уровня подготовки специалиста с учетом его служебного роста и взаимозаменяемости в составе подразделения РВ и А // Вестник академии военных наук. – 2012. – № 7.

5. Макет ФГОС (бакалавриат, специалитет, магистратура) от 22.02.2007 г. / Федеральный портал Российское образование. – URL: <http://www.edu.ru/db/portal/spe/3v/220207m.htm> (дата обращения: 16.01.2017).

6. Кунтурова Н.Б. Оценивание результативности реализации методики организации контроля формирования профессиональной компетентности военных специалистов // Известия Санкт-Петербургского электротехнического университета (ЛЭТИ). – 2015. – Т. 3. – С. 54–58.

Е.В. Иванова,

*кандидат техн. наук, доцент*

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.Ф. Хрулёва;

А.С. Кукоба

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.Ф. Хрулёва;

А.Б. Яблочкин

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.Ф. Хрулёва

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ИНОСТРАННЫХ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН**

Управление качеством находит всё большее применение в образовательном процессе. В данной работе с помощью метода SWOT-анализа определены стратегические позиции организации самостоятельной работы иностранных военнослужащих при изучении физико-математических дисциплин. Предложены мероприятия по повышению эффективности проведения самостоятельной работы с учетом профессиональной подготовки военнослужащих.

Ключевые слова: управление качеством, SWOT-анализ, образовательная деятельность, организация самостоятельной работы, стратегическое управление.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в военных вузах актуальным является требование качественной подготовки будущих военнослужащих [1–4]. Процесс профессионального развития сопровождается привлечением современных технологий обучения, которые инициируют активную учебно-познавательную деятельность курсантов. В современных условиях развитие военного образования России невозможно без международного сотрудничества, в связи с чем необходимо совершенствование и повышение авторитета национальной системы высшего образования. Для этого следует использовать достижения, которые имеются в европейской образовательной практике, и интегрировать их с лучшими традициями отечественной высшей школы. Возникшие в последние годы в нашей стране инновации в высшем профессиональном образовании связаны с вхождением России в Болонскую конвенцию, введением новых образовательных стандартов, актуализацией компетентностного подхода [5, 6]. Все эти инновации в организации системы образования не могут не отразиться на изменении образовательной среды в военном вузе.

### **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В ВОЕННОМ ВУЗЕ: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

Управление качеством подготовки специалистов в военном вузе представляет собой многоступенчатую систему. Ее жизнедеятельность обеспечивается тремя основными компонентами: 1) командным составом военного вуза; 2) профессорско-преподавательским составом кафедр; 3) курсантами. При работе с иностранными военнослужащими образовательная деятельность требует определенной корректировки. Это связано с рядом сопутствующих факторов: языковым барьером; временем освоения изучаемого материала; индивидуальными способностями курсанта; профессионализмом преподавателя в возможности и доступности изложения учебного материала; умением работать в команде «преподаватель + курсанты». Поэтому преподавателю при проведении учебных занятий с иностранными военнослужащими

ми необходимо выработать такую тактику, чтобы была возможность для обучающегося получить своевременную консультацию по теме занятия. Кроме того, преподавателю необходимо разработать стратегии, которые позволят иностранному военнослужащему понимать, как далее будет проходить самостоятельная подготовка по теме занятия.

На сегодняшний день известно много педагогических технологий, которые позволяют учитывать специфику подготовки иностранных военнослужащих с целью приобретений ими требуемых компетенций и навыков для будущей профессиональной деятельности [7, 8]. В частности, при изучении физико-математических дисциплин наряду с традиционными технологиями обучения актуально использование ИТ-технологий [9–11].

Рациональная образовательная деятельность позволяет определить уровень знаний, приобретенных курсантом, их глубину и системность, меру познавательного интереса и способностей, умение применять полученные теоретические знания на практических занятиях, умение оценить междисциплинарные связи. В частности, для военнослужащих эффективность образовательного процесса зависит от грамотной организации самостоятельной работы [12–17]. Четко спланированная самостоятельная подготовка курсантов позволяет им более глубоко и прочно овладеть системой научных знаний, опытом практической деятельности, развить такие качества, как самостоятельность, организованность, ответственность [18, 19]. Поэтому организация самостоятельной работы в военном вузе постоянно совершенствуется, в частности в настоящее время актуально применение инструментов управления качеством [20–22].

Далее дадим оценку эффективности организации самостоятельной работы иностранных военнослужащих на основе SWOT-анализа.

## СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ: МЕТОД SWOT-АНАЛИЗА

Разрабатывая методику организации самостоятельной работы курсантов, целесообразно определить достоинства и недостатки (сильные и слабые стороны) ее образовательного процесса; постараться определить, какие есть возможности и каких угроз следует опасаться [23]. Для этой цели применяется известный инструмент стратегического управления, а именно, метод SWOT-анализа для выработки эффективной стратегии принятия решений в рамках организации самостоятельной работы на кафедре физико-математических дисциплин.

SWOT-анализ – это аббревиатура четырех слов: *strength* – сила, *weakness* – слабость, *opportunities* – возможности, *threats* – опасности.

Сила – это достоинство, которое придает дополнительные возможности организации самостоятельной работы. Сила может заключаться в навыках, значительном опыте, ценных организационных ресурсах, достижениях, дающих преимущества.

Слабость – это отсутствие чего-то важного для организации самостоятельной работы, это то, что не удастся (в сравнении с другими), или нечто, ставящее самостоятельную работу в неблагоприятные условия.

Возможности определяются как нечто, дающее шанс сделать что-то новое, например внедрить новые технологии и т. п.

Угрозы – это то, что может нанести ущерб самостоятельной работе, лишить ее существенных преимуществ.

SWOT-анализ предполагает определение сильных (S) и слабых (W) сторон в организации самостоятельной работы, потенциальных внешних угроз (T) и благоприятных возможностей (O) и дает их оценку в процентах. Классическим примером такого анализа является составление таблиц S, W, O, T. Основной упор сделан не на методы определения и оценку S, W, O и T, а на формулирование конкретных стратегий и мероприятий на основе S, W и с учетом O и T.

После определения S, W, O, T составляют матрицу стратегий: 1) SO – мероприятия, которые необходимо провести, чтобы использовать сильные стороны для увеличения возможно-

стей; 2) WO – мероприятия, которые необходимо провести, преодолевая слабые стороны и используя предоставленные возможности; 3) ST – мероприятия, которые используют сильные стороны организации самостоятельной работы для преодоления угроз; 4) WT – мероприятия, которые минимизируют слабые стороны для преодоления угроз.

Для реализации SWOT-анализа при организации самостоятельной работы курсантов применяется следующий план действий:

1. Разрабатывается классифицированный список сильных и слабых сторон.
2. Разрабатывается классифицированный список угроз и возможностей.
3. Проводится качественный анализ стратегических позиций.
4. Формируются стратегии.

Для проведения SWOT-анализа исследуют факторы внешней и внутренней среды, оказывающие влияние на организацию самостоятельной работы. Таких факторов может быть огромное количество. Но из них необходимо выбрать лишь те, которые оказывают наибольшее влияние. Результаты SWOT-анализа приведены в табл. 1.

Далее проводится комплексная экспертная оценка возможностей и угроз с учетом сильных и слабых сторон. Эта информация приведена в табл. 2. В поле таблицы, на пересечении факторов, указывают экспертный балл степени взаимозависимости пары факторов: ноль (0) – отсутствие зависимости между факторами; один (1) – средняя зависимость; два (2) – тесная функциональная зависимость.

Таблица 1

## Результаты SWOT-анализа

Сильные стороны (S)	Слабые стороны (W)
1. Наличие компьютерного класса. 2. Методическое обеспечение. 3. Время на самостоятельную работу	1. Отсутствие возможности проконсультироваться в любой момент времени. 2. Отсутствие локальной сети для общения с преподавателем. 3. Недостаточный контроль в аудитории на самостоятельной работе
Возможности (O)	Угрозы (T)
1. Электронные пособия. 2. Видеолекции. 3. ВНО	1. Служба в наряде. 2. Командировки курсантов. 3. Болезни

Таблица 2

## Экспертная оценка (L – сумма; P – значимость факторов; И – итог, среднее значение)

Значимость факторов	O			T			Σ	P, %	И, %	
	1	2	3	1	2	3				
S	1	2	1	1	0	0	0	4	33	42
	2	2	1	1	0	1	1	6	50	
	3	1	1	2	0	0	1	5	42	
W	1	0	2	1	0	1	1	5	42	36
	2	1	0	2	0	1	1	5	42	
	3	0	1	2	0	0	0	3	25	
Σ	6	5	9	0	3	4	Экспертные оценки сильных и слабых сторон			
P, %	50	42	75	0	25	33				
И, %	57			19						

Исходя из данных, приведенных в табл. 2, можно отметить, что сильные стороны (S – 42 %) преобладают над слабыми (W – 36 %); средний процент возможностей (O – 57 %) превышает средний процент угроз (T – 19 %).

Сформулируем конкретные стратегии и мероприятия на основе экспертного анализа S, W и с учетом O и T, что позволит грамотно организовать самостоятельную работу курсантов:

- 1) SO – усилить методическое обеспечение посредством создания электронных пособий;
- 2) WO – осуществлять систематический контроль за самостоятельной работой курсантов в аудитории;
- 3) ST – рекомендовать создать условия для консультирования курсантов посредством локальной сети;
- 4) WT – учитывать специфику службы курсантов, а именно, активизировать разработку электронных пособий, которыми они могут воспользоваться при отсутствии (по болезни или из-за командировок).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрабатывая стратегии организации самостоятельной работы курсантов на основе SWOT-анализа, исходили из того, что необходимо стремиться к тому, чтобы перевести «слабые стороны» и «возможности» в раздел «сильные стороны» и постараться с учетом реальных условий скомпенсировать «угрозы», на которые нельзя повлиять, попытавшись к ним каким-то образом приспособиться.

Не смотря на то, что метод SWOT-анализа указывает на наиболее общие тенденции, которые влияют на организацию самостоятельной работы курсантов, его можно использовать и для стратегического планирования на длительный период. Именно метод SWOT-анализа позволяет выявить имеющиеся или вероятные проблемы и сформулировать стратегии для их преодоления, что необходимо для планомерной организации самостоятельной работы курсантов в военном вузе, например для участия курсантов в военном научном обществе.

Стратегическое управление образовательным процессом в военном вузе приобретает приоритетное направление. Это связано с тем, что 1 ноября 2015 года в России вышла новая версия национальных стандартов системы менеджмента качества. Несколько лет длится переходный период, в течение которого будут признаваться сертификаты, выданные по предыдущей версии стандарта. С введением новой версии стандарта в военном профессиональном образовании будут происходить изменения. Можно выделить три направления, которые необходимо развивать: 1) стратегические цели организации; 2) риски и возможности; 3) оценивание результатов деятельности.

## Список используемых источников

1. *Ефимов П.П.* Инновационные формы управления качеством образования в военном вузе // Гуманитарный вестник. – 2014. – № 2 (29). – С. 74–77.
2. *Григорьев В.К., Липатников А.Г.* К вопросу об управлении системой качества военного образования // Военная мысль. – 2016. – № 3. – С. 52–60.
3. *Ларина Т.В.* Организационные механизмы управления в педагогической системе обеспечения качества военного образования // Развитие личности как стратегия современной системы образования: материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2016. – С. 27–32.
4. *Солодова Е.А., Фасоля А.А., Ефимов П.П.* Об актуальности создания ситуационных центров управления качеством образования в военных вузах // Военная мысль. – 2015. – № 10. – С. 67–72.

5. *Рогачёва Е.Ю., Слепухин А.Ю.* Региональные вузы и международная интеграция образования // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, №1. – С. 6–12.
6. *Ефимов П.П., Ефимов И.О.* Педагогические условия формирования инновационной образовательной среды высшего учебного заведения // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, №2. – С. 16–21.
7. *Комаринских А.М., Лопуха Т.Л.* Технологии повышения качества военно-профессионального образования курсантов военных вузов // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – №1. – С. 46–49.
8. *Костарев С.В.* Организационно-деятельностные ресурсы современных педагогических технологий в формировании готовности будущих офицеров к профессиональной деятельности // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – № 4–2. – С. 58–61.
9. *Асанов С.Д.* IT-технологии в военном образовании и военной науке: существующие проблемы и пути их решения // Гуманитарные исследования. – 2015. – № 5 (9). – С. 57–59.
10. *Лапчик М.П.* Педагогика в многоуровневой системе подготовки кадров для образования: сближение с E-learning // Информатика и образование. – 2013. – № 8. – С. 3–8.
11. *Лапчик М.П.* Россия на пути к Smart-образованию // Информатика и образование. – 2013. – № 2. – С. 3–9.
12. Самостоятельная работа курсантов как ведущая форма учебной деятельности в военном вузе / В.С. Елагина, Ш.Ш. Хайрулин, Н.Н. Хайрулина, В.М. Рогожин // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. – С. 283.
13. *Прокофьева А.Л., Яснова Н.С.* Модель электронного учебного курса как средство организации самостоятельной подготовки // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Вып. 651. – С. 207–210.
14. *Репях Н.А., Хрустова А.Н.* Модели методического сопровождения самостоятельной работы обучающихся в вузе // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. 649. – С. 220–225.
15. *Репях Н.А., Хрустова А.Н.* Самостоятельная работа в современном образовательном процессе: пути и способы активизации // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. 646. – С. 186–192.
16. *Роппель Л.М.* Самостоятельная работа курсантов: организация, перспективы // Гуманитарные проблемы военного дела. – 2015. – № 2 (3). – С. 130–132.
17. *Филатов А.Ю.* Особенности организации самостоятельной работы курсантов военных вузов под руководством преподавателя // Научные исследования: от теории к практике. – 2014. – № 1 (1). – С. 166–169.
18. *Елагина В.С.* Принципы организации самостоятельной работы курсантов военного вуза // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 5–1. – С. 49–50.
19. *Сальникова А.В.* Организация самостоятельной работы курсантов // Организация самостоятельной работы студентов на факультете вуза: материалы международной научно-практической конференции. – Минск, 2006. – С. 123–125.
20. *Кодзоков С.А.* Научно-методическое обеспечение развития компетенции целеполагания в самостоятельной работе // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – № 2 (45). – С. 30–33.
21. *Стрекалова Н.Б.* Методологические подходы к управлению качеством самостоятельной работы студентов // Профессиональное образование в современном мире. – 2015. – №4 (19). – С. 117–123.
22. *Николаева А.Д.* Стратегический подход к управлению образованием // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8–7. – С. 1667–1671.
23. *Гольдштейн Г.Я.* Стратегический менеджмент: учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 94 с.

О.В. Гуторович,  
*кандидат философских наук;*  
В.Н. Гуторович,  
*кандидат философских наук*

## **ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ВОЙНА И МОРАЛЬНО- ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ВОЕННОСЛУЖАЩИХ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

В данной работе автор рассматривает понятие «психологическая война», раскрывая сущность данного феномена и определяя причины, способствовавшие его появлению. Обращение к онтологическому аспекту психологической войны предполагает анализ основных видов и приемов психологического воздействия, а также средств, с помощью которых оно осуществляется. В связи с тем, что внедрение новейших методов психологической войны актуализирует вопрос морально-психологической подготовки личного состава, автор рассматривает влияние морально-психологического состояния на боевую деятельность воина, показывая роль и значимость морально-психологической подготовки военнослужащих.

Ключевые слова: психологическая война, психологическое воздействие, приемы психологической войны, социальная пропаганда, морально-психологическая подготовка, военнослужащий.

За прошедшую историю война, не меняя своего внутреннего содержания, сохраняя неизменной свою парадигму «борьбы волею за смену социальных ролей», претерпела немало изменений в форме и методах ведения. Существуют разные критерии, на основе которых проводят типологию войн и дают их сравнительную характеристику. В качестве критерия рассматривают средства поражения, масштаб, управленческие технологии, наконец, характер воздействия на противника. На основании последнего критерия принято выделять физические, экономические и психические войны, они и являются предметом данного исследования.

Следует констатировать, что длительное время превалировало физическое уничтожение неприятеля, тысячелетиями господствовала война, которую логично назвать физической. Однако уже в древности в ее недрах зарождается новый тип войны – экономический. По мере эволюции интеллекта и возникновения государств люди стали осознавать, что истребление врагов не всегда выгодно. Выгоднее расставить экономические ловушки и капканы, сплести паутину экономической зависимости и, «присосавшись» к ресурсам противника, заставить его работать на себя.

После Второй мировой войны стало понятно, что физические формы воздействия на противника чрезвычайно затратны. Изобретение средств массового уничтожения вообще поставило под сомнение целесообразность полномасштабных физических войн, так как уничтожаются территории, ресурсы, рабы, кроме того, сам агрессор может пострадать в результате применения такого оружия. С этого времени экономическая война становится приоритетной формой и осуществляется в основном по четырем направлениям: «перекачивание мозгов», экономическая экспансия, промышленный шпионаж и экономические санкции. Главный принцип экономической войны – это установление ростовщических экономических отношений, а в случае сопротивления – включение физических форм воздействия: государственного давления и вымогательства под угрозой оружия.

Экономическая война может осуществляться и путем использования различных пропагандистских лозунгов вроде борьбы за демократию, экологию, права национальных меньшинств и пр. В этом случае она тесно связана с войной психологической. С точки зрения А.М. Морозова, автора книги «Психологическая война» (1996), данный тип войны «полностью изменяет представление о содержании войны. В ней нет очевидных врагов. В этой



войне главным является то, чтобы создать условия, в которых Ваш противник сам себя уничтожает, сам отдает Вам свои материальные и интеллектуальные ресурсы» [1].

Приемы психологического воздействия отрабатывались человечеством столетиями. Уже история Древнего Египта свидетельствует об их использовании в религиозно-мистических и политических целях. Так, в папирусе Эберса рассказывается о простейших способах гипнотизации для повышения влияния жрецов на народ. Весьма правдоподобно описываются психологические приемы воздействия жреца и кудесника Берозса на молодого фараона польским писателем Б. Прусом в книге «Фараон» [2].

С развитием письменности и открытием радио и телевидения появляются новые формы ведения психической войны. Из летописей и хроник хорошо известно, насколько сильное воздействие на толпу оказывали так называемые предметные грамоты, которые подбрасывались в нужном месте и в нужное время. Через них организовывались массовые акции неповиновения, бунты, сводились счеты с соперниками. Появление печатного слова поставило службу дезинформации на индустриальную основу.

Изобретение же радио и телевидения привело к стремительному росту возможностей манипулирования сознанием людей. В связи с этим естественным образом возник вопрос контроля эфирного пространства. Сегодня это одна из важнейших задач любого правящего режима. На это идут колоссальные материальные и интеллектуальные ресурсы.

Хотя методы психологического воздействия в военных целях известны с древних времен, психологическая война в ее современном понимании сформировалась только в XX веке. И этому способствовал ряд причин. Во-первых, отказ от физических форм воздействия на противника в связи с развитием научно-технического прогресса и, как следствие, созданием ядерного оружия, применение которого грозит гибелью человечеству. Во-вторых, появление средств массовой информации, по сути информационно-пропагандистской машины, позволяющей вести широкомасштабную психологическую войну. И в-третьих, рост образовательного и культурного уровня широких масс, что заставляет правительства скрывать действительные цели войны, прикрываясь демагогическими лозунгами об «оборонительной войне» или о «войне за свободу и демократию», прибегать к психологическому насилию, лжи, пропагандистской травле тех, кто не согласен стать пушечным мясом.

В конце XIX – начале XX веков в Европе, прежде всего в Германии, появляется целый ряд работ, посвященных психологическим аспектам войны. Так, в 1893 году вышли в свет книги «К вопросам психологии большой войны» фон Биндер-Кригельштейна и «Психологические элементы в наступлении и обороне» Фрейхера фон Лихтенштейна. После Первой мировой войны вопросами ведения психологической войны заинтересовались военные теоретики, среди них известный немецкий генерал пехоты, идеолог германского милитаризма Эрих Людендорф. Повышенный интерес к этой проблеме отчасти объясняется популярностью работ З. Фрейда, сосредоточившего свое внимание на сфере бессознательного и человеческих инстинктов. Его идеи психоанализа в дальнейшем блестяще использовала нацистская пропаганда.

В 30–40-х годах XX века Германия была буквально наводнена литературой по вопросам психологической войны. Нацисты не только пользовались термином «психологическая война», но и имели в ОКВ (нем. Oberkommando der Wehrmacht, ОКВ) теоретический отдел под вывеской «Психологическая лаборатория», занимавшийся проблемами ведения психологической войны. Они же определили, что смысл психологической войны в «игре на нервах». В «Основных положениях военной пропаганды», изданных гитлеровским генеральным штабом в 1943 году, утверждалось, что «наиболее уязвимое место у человека – его психология, чувственная сторона. Поэтому больший успех можно ожидать, адресуясь к психологическим чувствам, а не вообще к сознанию» [3]. Не случайно ее и сегодня называют «войной нервов».

В разговорной речи термин «психологическая война» закрепился в конце 1940-х годов. Он был введен в обиход одним из теоретиков психологической войны, бывшим американским разведчиком, специалистом по организации и ведению подрывной пропаганды времен Вто-

рой мировой войны П. Лайнбарджером. В своей книге «Психологическая война», вышедшей в 1948 году, он впервые рассматривает данный феномен в «широком» и «узком» смысле слова.

С точки зрения П. Лайнбарджера, «психологическая война в «широком» смысле слова представляет собой использование основ психологии в военном деле. В «узком» смысле психологическая война представляет собой использование пропаганды в вооруженной борьбе одновременно с ведением таких боевых действий, которые дополняют пропаганду» [4]. При этом пропаганду он определял как организованное убеждение без применения насильственных мер, а войну рассматривал как способ воздействия и убеждения с помощью насилия.

Обращение к вопросам онтологии войны находится в давней традиции философии, ее *сущность в обычном понимании всесторонне изучена. Особенности же психологической войны* не укладываются в рамки принятых представлений о войне. Она ведется перед обычной войной, в ходе нее и после прекращения военных действий. Она не подчиняется принятым законам и обычаям войны и не имеет ничего общего с такими понятиями, как «поле боя», «боевой приказ», «боевые действия». Психологическая война представляет собой длительный процесс. Успех или неудача в ней часто выясняются лишь спустя несколько месяцев или даже лет после проведения соответствующих операций.

Обратимся к сущности данного феномена.

В.Г. Крысько, полковник запаса, один из крупных специалистов в области психологии, рассматривает психологическую войну в быденном и профессиональном понимании. В первом случае «психологическая война» обозначает «стихийное, неквалифицированное использование средств общения и механизмов социально-психологического воздействия одними людьми против других людей с целью подчинения их себе или создания благоприятных условий для своего существования и деятельности» [5]. В таком виде она существует столько времени, сколько существует сам человек. С профессиональной точки зрения данное понятие отражает «содержание деятельности специальных органов одного государства, оказывающих психологическое воздействие на гражданское население и (или) на военнослужащих другого государства ради достижения своих политических, а также чисто военных целей» [6].

Весьма точно сущность профессионально организованной психологической войны определил древнекитайский философ и военный деятель Сунь-цзы (VI век до н.э.). В трактате «Искусство войны» он писал, что «наилучшая политика сводится к захвату государства целостным, разрушить его значительно легче. Взять в плен армию противника лучше, чем ее уничтожить. Одержать сотню побед в сотне сражений – это еще не предел искусства. Покорить противника без сражения – вот венец искусства» [7]. Сунь-цзы подчеркивал, что самая выгодная из всех военных стратегий – манипулирование неприятелем, позволяющее добиться легкой победы над ним без боя. Теоретические построения основоположника психологической войны сводятся к следующему: «Разлагайте всё хорошее, что имеется в стане вашего противника; вовлекайте его видных представителей в преступные предприятия, подрывайте их престиж, выставляйте их в нужный момент на позор общественности; используйте сотрудничество самых подлых и гнусных людей; разжигайте ссоры и столкновения среди граждан вражеской страны; препятствуйте всеми способами оснащению, обеспечению и наведению порядка в вооруженных силах неприятеля; будьте щедры на предложения и подарки для покупки информации и сообщников; вообще не экономьте ни на деньгах, ни на обещаниях, так как они приносят богатые дивиденды» [8]. Дальнейшее развитие военного искусства сопровождалось неизменным совершенствованием данных форм морального воздействия на противника.

В настоящее время психологическое воздействие осуществляется с помощью психологических, экономических, политических и военных средств.

Классическим примером использования психологических средств при подготовке к войне является формирование правительством у своего народа патриотических взглядов и убеждений с помощью СМИ, в то время как вероятный противник стремится к разжиганию на дан-

ной территории националистических предрассудков или недовольства политическими или экономическими мероприятиями правительства.

О применении психологических средств в ходе войны писал знаменитый греческий историк Геродот, рассказывая, например, как полководец греко-персидских войн Фемистокл у источника питьевой воды высек на камне надпись, призывавшую ионийцев не совершать грех и не сражаться против своих отцов, помогая этим поработить Грецию! «Лучше переходите к нам, а если не можете сделать этого, то отведите свои войска с поля боя и уговорите карийцев поступить так же. Но если ни то, ни другое вам не удастся, и вы вынуждены будете выступить на поле боя, то сражайтесь только для виду, помня, что вы произошли от нас и враждебность варваров к нам берет свое начало от их враждебности к вам» [9]. Стремление Фемистокла показать оправданную заинтересованность положением противника, не могло не вызвать у Геродота чувства симпатии. Обращение Фемистокла кладет начало так называемой черной пропаганде, которая вынудила персов подозревать, что любой иониец, не являющийся примерным во всех отношениях, – тайный сторонник афинян. Этот прием полностью отвечает современным требованиям, предъявляемым к листовкам, которые распространяются на поле боя.

Такое обращение напоминает тексты советских агитационных листовок времен Великой Отечественной войны, предназначенных для деморализации немецких солдат. Содержание большинства артефактов было составлено сотрудниками 7-го отдела Главного политического управления РККА, отвечавшего за пропаганду среди войск Вермахта. Листовки выпускались гигантским тиражом в разных типографиях страны, в том числе и в передвижных армейских, и забрасывались в стан врага с помощью специальных агитснарядов, в них немецких солдат убеждали прекратить сопротивление, сдать оружие, прекратить войну.

Использование системы торговых и финансовых санкций, направленных на экономический подрыв потенциального противника, демонстрирует применение экономических средств в ходе психологической войны. Известно, что экономические санкции (в том числе и от имени ООН) против Ирака, Югославии, Кубы, Ливии, Судана и ряда других стран повлекли за собой значительное снижение уровня жизни большинства населения, многочисленные бытовые трудности, рост заболеваемости, недоедание и, как следствие, массовое недовольство граждан существующим положением.

Психологическое воздействие может осуществляться и чисто политическими средствами. Например, проведенный в Москве в январе 1999 года демонстративный марш членов националистической организации А. Баркашова «Русское национальное единство» повлек за собой ожесточенную полемику между представителями различных политических сил России и усилил противостояние между ними.

Иллюстрацией использования военных средств в целях психологического воздействия служит частичная или всеобщая мобилизация. Так, в 1914 году вслед за мобилизацией армий в Австрии, Германии, Франции Россия провела мобилизацию своих вооруженных сил. Другой исторический факт – отправка к берегам Гаити 20 боевых кораблей ВМФ США в 1994 году, свидетельствующая о психологическом воздействии посредством военного демарша. Наконец, в настоящее время достаточно распространенным является приглашение на военные маневры представителей других государств для демонстрации им новейших военно-технических достижений и мощи государства.

Психологическая война невозможна без широкого использования особых способов и приемов воздействия. Известный социальный психолог и политолог Д.М. Ольшанский в работе «Основы политической психологии» (Екатеринбург, 2001 г.) рассматривает наиболее распространенные приемы психологической войны. К ним автор относит «психологическое давление», «незаметное проникновение в сознание», «скрытое нарушение и искажение законов логики».

«Психологическое давление» предполагает «многократное повторение одного и того же ложного тезиса, ссылки на авторитеты в сочетании с различными спекуляциями (начиная от

искажения цитат и кончая ссылками на несуществующие источники); манипуляцию («игру») цифрами и фактами для создания видимости объективности и точности; тенденциозный подбор иллюстративного материала с упором на эффект «драматизирующего воздействия»; устрашающие «наглядные иллюстрации» пропагандистских взглядов и позиций и другие аналогичные приемы, рассчитанные на создание эмоционального дискомфорта и нейтрализацию способности человека рационально оценивать предоставляемую информацию» [10].

Примером такого психологического давления является так называемая «геббельсовская пропаганда», исходившая из циничной презумпции того, что ложь, дабы быть эффективной, должна быть массивной, крупномасштабной, беззастенчивой и непрерывной. Йозефу Геббельсу принадлежат знаменитые высказывания: «Ложь, повторенная тысячу раз, становится правдой», «Худший враг любой пропаганды – интеллектуализм. Пропаганда всегда должна быть обращена не к интеллигенции, а к массам», «Пропаганда должна воздействовать на чувства, а не на разум», «Мы добиваемся не правды, а эффекта» и, наконец, «Дайте мне средства массовой информации, и я из любого народа сделаю стадо свиней». Эти высказывания демонстрируют, что пропаганда является грозным оружием в руках знатока и в ней нет места гуманизму и эстетике. Она не может быть объективной, ей свойственна принципиально субъективная односторонность. Пропаганда должна быть занимательной, необычной, перенасыщенной информацией и при этом простой, доступной, с настойчивым многократным повторением. Ее цель – формирование у людей нужной картины мира и направление их мышления в определенное русло.

Не менее интересным является и такой прием психологической войны, как *«незаметное проникновение в сознание»*. С точки зрения Д.М. Ольшанского, это «реклама своего (красивого и беззаботного) образа жизни, распространение желательных (обычно собственных) политических ценностей и стандартов своей массовой культуры через музыку, развлекательные телепрограммы и кинофильмы, а также через моду (на одежду, особенно с элементами политической символики, предметы быта, отдыха, туризма и т. п.)» [11]. Сюда же относится массивное распространение слухов и сплетен в качестве альтернативы официальной пропаганде, внедрение в массовое сознание политических анекдотов, сочинение псевдофольклорных («народных») поговорок и пословиц. В совокупности они позволяют фиксировать не просто необходимую, а нужную информацию, передаваемую нетрадиционным путем.

Большая часть приемов незаметного проникновения в сознание объединяется понятием «социологическая пропаганда». Первым, кто выступил с конкретным определением этого рода пропаганды, был французский социолог Жак Эллюль в книге «Пропаганда» (1965). Рассматривая различные оттенки традиционной или политической пропаганды, он приходит к выводу, что «кроме традиционных форм воздействия, существует иной род пропаганды, менее осязаемый, который можно назвать социологической пропагандой. С помощью этой пропаганды определенное общество старается слить с собой максимальное число личностей, нивелировать поведение своих членов согласно определенным образцам, распространять свой образ жизни за границей и таким образом навязывать его иным группам» [12].

По мнению Ж. Эллюля, опасность социологической пропаганды в том, что она стремится к изменению привычных моделей культуры, к массовому созданию нового образа жизни и обычаев. В этом ее отличие от традиционной пропаганды, инспирирующей акции для единовременных потребностей. Одновременно Ж. Эллюль разоблачает способы воздействия этой пропаганды, утверждая, что она действует незаметно и поэтому не производит впечатления пропаганды. Социологическая пропаганда в отличие от традиционной как бы просачивается в людей из окружающей их социологической атмосферы и доходит до человека через его навыки и подсознательные привычки. В результате этого незаметного влияния пропаганды «человек воспринимает новые критерии оценки и выбора, воспринимает их незаметно, будто бы выбирает их сознательно» [13].

Будучи формально лишённой идеологических признаков и политических целей такая пропаганда основывается на детальном планировании и дифференцированном воздействии на

различные социально-политические силы и осуществляется по нарастающей. Возбуждая потребности и интересы людей, она действует на перспективу, на долгосрочные факторы, определяющие поведение. Она является эффективной в стратегическом отношении.

Третий прием психологической войны, рассматриваемый Д.М. Ольшанским, получил название – «*скрытое нарушение и искажение законов логики*». Наиболее эффективно он может быть использован в отношении малообразованных слоев населения, склонных всё принимать на веру, а также неспособных уловить рациональные перверсии (извращения). Автор называет характерные для него черты, среди них подмена тезисов, ложная аналогия, вывод без достаточного основания, подмена причины следствием, тавтология и т. д.

Раскрывая сущность психологической войны, следует остановиться не только на приемах и средствах, с помощью которых ведется психологическое воздействие, но и на видах воздействия, применяемых специальными органами государства в отношении гражданского населения и военнослужащих другого государства ради достижения своих политических и военных целей. Обобщение опыта отечественных и зарубежных специалистов позволило В.Г. Крысько в работе «Секреты психологической войны» (1999) выделить шесть основных видов психологического воздействия: информационно-психологическое, психогенное, психоаналитическое, нейролингвистическое, психотронное и психотропное.

Комментируя *информационно-психологическое воздействие*, С.А. Зелинский, автор многочисленных научных трудов по теории и практике манипулирования, отмечает, что «основным средством, с помощью которого осуществляется воздействие на психическое сознание масс, является слово, информация» [14]. Психологическое воздействие такого вида ставит своей целью формирование определенных идеологических (социальных) идей, взглядов, представлений, убеждений. Одновременно оно вызывает у людей положительные или отрицательные эмоции, чувства и даже бурные массовые реакции. Сформированные соответствующим образом установки в массах способны изменить жизнь человека, способ его существования, социальный уклад населения и даже общественный строй. И не случайно В.И. Ленин писал, что «сила привычки миллионов и десятков миллионов – самая страшная сила» [15].

В ходе применения *психогенного воздействия* наблюдается нарушение нервно-психической деятельности объекта воздействия. Человек теряет ориентацию в пространстве, испытывает аффект или депрессию, впадает в панику, в состояние ступора. Он не может рационально мыслить и действовать. В связи с этим появилось такое понятие, как психогенные потери личного состава. Такой эффект достигается ориентированным или произвольным физическим воздействием на мозг и внутренние органы человека психофизических факторов, таких как электромагнитные колебания, звук, освещение, температура и др. Используют и шоковое воздействие окружающих условий или каких-то событий: картин массовых разрушений, многочисленных жертв и т. д.

Частным, но весьма показательным случаем психогенного воздействия выступает, например, влияние цвета на психофизиологическое и эмоциональное состояние человека. Так, экспериментально установлено, что при воздействии пурпурного, красного, оранжевого и желтого цветов учащается и углубляется дыхание и пульс человека, повышается его артериальное давление, а зеленый, голубой, синий и фиолетовый цвета оказывают обратный эффект. Первая группа цветов является возбуждающей, вторая – успокаивающей.

*Психоаналитическое воздействие* предполагает воздействие на подсознание человека терапевтическими средствами, особенно в состоянии гипноза или глубокого сна. Исследования в этом направлении осуществлялись по заданию Министерства обороны СССР профессором, академиком РАЕН И.В. Смирновым. В 1994 году он опубликовал работу «Компьютерный психоанализ и психотерапия», где осветил технологию психоанализа с применением компьютерных технологий. Данная технология позволяет в кратчайшие сроки проводить диагностику человека и осуществлять корректировку его поведения. Например, человек, улавливая неприятный звук, на уровне подсознания реагирует на него; в результате обработки сигнала компьютер выбирает тональность звука, которая соответствует той или иной моделируемой

ситуации. В итоге для определенного типа людей можно так подобрать шумовые и визуальные картины, что на подсознательном уровне эти люди будут программироваться на определенные эмоции.

Существует и такой вид психологического воздействия, который способен изменить мотивацию людей путем введения в их сознание специальных лингвистических программ. Речь идет о *нейролингвистическом воздействии* или *психолингвистическом программировании*, которое в настоящее время активно используется психоаналитиками для лечения людей. Необходимость непосредственного контакта с объектом ограничивает сферу использования этого вида психологического воздействия.

Появление психотронного оружия впервые было предсказано в 1926 году советским писателем-фантастом А. Беляевым в произведении «Властелин мира». Вслед за ним С. Кржижановский публикует повесть «Клуб убийц букв», где изображает устройство под названием «экстерриторизатор», с помощью которого некий диктатор покоряет мир. Основу такого оружия составляет *психотронное (парапсихологическое, экстрасенсорное) воздействие*, осуществляемое путем передачи информации через внечувственное, неосознаваемое восприятие.

В настоящее время наиболее известным примером такого воздействия является «феномен 25 кадра», эффективность которого до конца не изучена. Известны также факты проведения работ по созданию генераторов высокочастотной и низкочастотной кодировки мозга. Неслучайно в повести А. и Б. Стругацких «Обитаемый остров» описывается инопланетное государство, власть в котором держится на системе ретрансляционных башен, воздействующих на психику населения специальным излучением.

Главной областью воздействия психотронного оружия могут стать экипажи различных боевых машин (танков, БТР, самолетов, автомобилей, кораблей и подводных лодок) с целью их дестабилизации или поражения. Возможно массовое воздействие психотронного оружия и на отдельные территории с целью провоцирования волнений и бунтов, а также для создания у людей состояния повышенной агрессии либо, наоборот, апатии, сонливости и депрессии. Психотронное оружие можно отнести к типу оружия, применяемому скрытно. Официально зафиксированных фактов его применения на данный момент не существует.

Управление психическим состоянием человека может быть достигнуто за счет использования медицинских препаратов, химических или биологических веществ. Такой вид воздействия получил название *психотропного*. Известно, чтобы заставить человека делать то, чего он не хочет, совсем не обязательно хирургическим путем изменять строение его головного мозга или принуждать его силой. Нужно только правильно подобрать препараты и соответствующим образом их применить. Так, 25 лет назад появился препарат «би-зет» (BZ) – мощное психотропное средство, эффективно влияющее на массы людей. Достаточно обработать им, скажем, батальон на марше, и тот становится неуправляемым.

Не все указанные здесь виды психологического воздействия используются в равной степени. Их применение зависит от целей и задач, решаемых в ходе военных действий, от возможностей, сил и средств, которыми обладает государство. Чаще всего в ходе ведения психологической войны применяются информационно-психологическое и психогенное воздействия.

Технологизация ведения военных действий, связанная с постоянным совершенствованием вооружения и военной техники, а также с внедрением разнообразных видов психологического воздействия, актуализирует вопрос *морально-психологической подготовки личного состава*.

Полковник М.Ю. Зеленков, рассматривая проблему поддержания высокого морально-психологического состояния вооруженных сил в качестве одной из приоритетных в сфере обеспечения национальной безопасности, определяет факторы, положительно и отрицательно влияющие на морально-психологическое состояние личного состава.

«Практикой доказано, – отмечает он, – что к положительным факторам следует отнести: высокий уровень личной профессиональной подготовки и постоянное стремление к его повышению; убежденность в исключительности государственного строя своей страны; гор-

дость за принадлежность к своей стране и ее ВС; приверженность традициям воинской части и ВС в целом; уверенность в качестве своего оружия; высокая психологическая готовность к началу военных действий» [16].

В то же время в ходе проведенных исследований были выявлены факторы, негативно влияющие на морально-психологическое состояние. Среди них, по мнению автора, «повышенный интерес к материальному стимулированию военнослужащих в ущерб морально-нравственному воспитанию; пренебрежение к противнику, переоценка своих сил, повышенное комфорталюбие; потеря инициативы в ходе боевых действий, что может привести к существенному снижению морально-психологического состояния военнослужащих; наличие расовых предрассудков, проявление крайних форм индивидуализма, карьеризм, отчужденность, напряженность во взаимоотношениях; злоупотребление алкоголем, наркотиками; сексуальные домогательства в отношении женщин-военнослужащих» [17].

Следует отметить, что система морально-психологической подготовки военнослужащих выстраивалась и последовательно совершенствовалась на протяжении тысячелетий. Ее содержание и направленность определялись весьма высокими, даже жесткими требованиями общества и государства к необходимости выполнения военнослужащими гражданского и воинского долга по защите собственных национальных интересов. Идея служения Отечеству, готовности с оружием в руках выступить на защиту независимости и территориальной целостности народа, государства позиционировалась не только в качестве высшей и непререкаемой ценности, но и как важнейшее условие существования и развития самого общества.

Уже в Древней Греции и Древнем Риме была отработана и реализована на практике система морально-психологической подготовки спартанских и афинских эфэбов, в которой определяющую роль играла ее мировоззренческая направленность и система высших духовно-нравственных ценностей [18]. Древнегреческий писатель Лукиан Самосатский (около 120 – после 180 гг. н. э.), описывая афинскую систему подготовки молодежи, в труде «Анахарсис, или об упражнении тела» писал: «Более всего мы стараемся, чтобы граждане были прекрасны душою и сильны телом: ибо именно такие люди хорошо живут вместе в мирное время и во время войны спасают государство и охраняют его свободу и счастье» [19]. Еще раньше эта проблема была затронута Аристотелем в работе «Афинская полития» [20], где раскрывается сложная процедура зачисления юношей в эфэбию и двухгодичный цикл подготовки их к военной и гражданской службе. Обучение включало разнообразные интенсивные гимнастические тренировки, военные упражнения с боевым оружием, театральные репетиции и углубленное изучение философии. По его завершении эфэбы должны были продемонстрировать полученные навыки и умения по военной тематике и технике владения оружием перед гражданами Афин в государственном театре. В конце представления каждому эфэбу выдавались копье и щит, после чего они произносили клятву верности, начинавшуюся с обещания: «Я не опозорю моего священного оружия и не покину моего друга, где бы я ни находился...».

Выданное государством оружие почиталось священным, а смерть была предпочтительнее измены высшим ценностям афинского общества. Высшие морально-политические чувства подавляли простейшие биологические эмоции. Девиз «Родина или смерть!» становился не просто патетической конструкцией, а императивом, определяющим всю жизнь эфэба. Эфэбы были готовы отдать свою жизнь во имя любви к своей родине, во имя демократических идеалов государства, во имя свободы, исходя из понимания своей личной гражданской ответственности за судьбу Отечества. Именно это было главным условием победы афинских воинов над многократно превосходящими их персидскими войсками.

Примером стойкости, выучки является и римская армия, чья система воспитания и подготовки воинов, по словам Ф. Энгельса, создала победителей древнего мира. «Обучение воина было очень суровым и было рассчитано на развитие в нем всеми возможными способами физической силы. Широко практиковались бег, прыганье, скачки, лазанье, борьба, плаванье без одежды и в полном вооружении. Продолжительные марши в тяжелом походном порядке, где каждый воин нес на себе от 40 до 60 фунтов (18–27 кг), совершались с быстротою 4-х миль

(около 6,5 км.) в час. В военное обучение входило также обращение с окопным инструментом и быстрое устройство укрепленного лагеря. И не только новобранцы, но и легионы ветеранов должны были заниматься всеми этими упражнениями, чтобы сохранять телесную свежесть, гибкость и оставаться привычным к усталости и лишениям. Такие воины действительно были способны покорять мир» [21].

Военный теоретик Древнего Рима Ф. Вегеций свидетельствовал: «Мы всегда выигрывали тем, что умели искусно выбирать новобранцев, учить их законам оружия, закалять ежедневным упражнением, предварительно предвидеть во время упражнений в течение лагерной жизни все то, что может случиться в бою и во время сражения, и, наконец, сурово наказывать бездельников» [22].

Высокий уровень профессиональной подготовки, мотивация и готовность к активным действиям определяют морально-психическое состояние воина в бою, его способность выдерживать высокие нервно-психические и физические нагрузки и действовать по предназначению в условиях непосредственной опасности. Любой бой – это не только согласованные по цели, месту и времени удары, огонь и маневры, это прежде всего ожесточенное противостояние целеустремленных, мыслящих, чувствующих людей, побуждаемых личными взглядами, обладающих навыками и умениями, волей и надеждами. И от того, у какой из сторон духовные силы, морально-боевые качества и возможности окажутся лучше сформированными, мобилизованными, сохраненными и адекватными потребностям современного боя, в определяющей степени будет зависеть победа или поражение. В ходе ведения психологической войны эти качества приобретают еще большее значение.

На значимость морального фактора указывали многие теоретики военного дела. По выражению великого полководца и государственного деятеля Наполеона Бонапарта: «Духовная сила человека относится к физической, как три к одному». Примерами храбрости, самоотверженности и самопожертвования являются действия воинов Леонида под Фермопилами и легионеров Цезаря. Героизм, мужество, воинская доблесть были свойственны ратникам Дмитрия Донского и пехотинцам великого русского полководца Александра Васильевича Суворова. Умение стойко переносить трудности и лишения, взаимопомощь, взаимовыручка и жертвенность характеризуют бойцов стрелковой дивизии Панфилова. В истории предостаточно подобных примеров, доказывающих, что природа морального фактора постоянна.

Всесторонний учет и использование морально-психологического фактора в интересах выполнения поставленной задачи оказывают глубокое воздействие на все стороны боевой деятельности войск, решения командиров, а также характер, ход и исход военных действий. В свое время английский государственный деятель и философ Ф. Бэкон позволил себе высказывание: «Обнесенные стенами города, арсеналы и склады оружия, породистые кони, военные колесницы, слоны, артиллерия и прочее, все это лишь овца в львиной шкуре, если люди не полны отваги и воинственного пыла» [23]. Военная история подтверждает абсолютную правоту данного заявления.

В настоящее время процесс функционирования системы морально-психологической подготовки военнослужащих опирается на военно-политические и военно-доктринальные уставы и положения государства и включает в себя целый спектр компонентов, к которым в первую очередь относятся: политический, духовный, законодательный, социальный, информационный, психологический компоненты.

Система морально-психологического воздействия на личный состав предполагает: организацию патриотического, воинского, нравственного и духовного воспитания; систему информирования войск; всестороннее психологическое обеспечение личного состава и психологическую подготовку; систематическую гуманитарную (морально-политическую), правовую подготовку; комплекс мер по защите военнослужащих от негативного информационно-психологического воздействия.

Таким образом, морально-психологическая подготовка военнослужащих означает их способность выдержать в течение войны величайшее напряжение, трудности, потери, бедствия,



даже поражения, не утратив воли к победе. Правильная оценка данной проблемы имеет как теоретическое, так и большое практическое значение, ибо от этого зависит успешное решение многих поставленных задач. Морально-психологическую подготовку следует рассматривать в качестве соавтора победы в любой войне.

### Список используемых источников

1. *Морозов А.М.* Психологическая война. – Киев, 1996. – URL: <http://psyfactor.org/biowar.htm> (дата обращения: 09.12.2016).
2. *Прус Б.* Фараон. – URL: <http://www.e-reading.club/book.php?book=46894> (дата обращения: 09.12.2016).
3. *Волкогонов Д.А.* Психологическая война: подрывные действия империализма в области общественного сознания. – URL: <http://www.universalinternetlibrary.ru> (дата обращения: 17.12.2016).
4. *Лайнбарджер П.* Функции психологической войны. – URL: <http://psyfactor.org/psuwar2.htm> (дата обращения: 09.12.2016).
5. *Крысько В.Г.* Секреты психологической войны (цели, задачи, методы, формы, опыт). – URL: [http://svitk.ru/004\\_book\\_book/2b/465\\_krisko-sekreti\\_psihologiheskoj\\_voyni.php](http://svitk.ru/004_book_book/2b/465_krisko-sekreti_psihologiheskoj_voyni.php) (дата обращения: 18.11.2016).
6. Там же.
7. *Сунь-цзы* Искусство войны. – URL: <http://lib.ru/POECHIN/suntzur.txt> (дата обращения: 21.11.2016).
8. Там же.
9. *Лайнбарджер П.* Психологическая война. – М.: Военное изд-во МО СССР, 1962. – С. 31.
10. *Ольшанский Д.М.* Основы политической психологии. – Екатеринбург, 2001. – URL: <http://psyfactor.org/lib/psuwar41.htm> (дата обращения: 09.12.2016).
11. Там же.
12. Социологическая пропаганда // Психологическая война: сб. статей. – М.: Изд-во «Прогресс», 1972. – С. 2. – URL: <http://www.rc-analitik.ru/file/%7B43a38691-d8dd-4a6c-8267-b8d283c04f68%7D> (дата обращения: 09.12.2016).
13. Там же.
14. *Зелинский С.А.* Информационно-психологическое воздействие на массовое сознание. – URL: <http://psyfactor.org/lib/zelinski-01.htm> (дата обращения: 10.12.2016).
15. *Ленин В.И.* Полн. собр. соч. – Т. 41. – С. 27.
16. *Зеленков М.Ю.* Морально-психологическая подготовка войск в армиях зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – №11. – С 5–11.
17. Там же.
18. *Лутовинов В.И., Родионов Е.Г.* Современная молодежь: основные ценности, позиции, ориентиры // Обозреватель. – 1997. – № 9; Патриотическое воспитание военнослужащих на традициях российской армии. – М.: ВУ, 1997.
19. *Лукиан.* Анахарсис, или об упражнении тела // Соч.: в 2 т. – СПб., 2001. – Т. 1. – С. 336–337.
20. *Аристотель.* Афинская полития. – М.; Л., 1936. – С. 79.
21. *Маркс К., Энгельс Ф.* Сочинения. – Т. XI, ч. II. – С. 380.
22. *Вегетий Ф.* Краткое изложение военного дела. – URL: <http://www.xlegio.ru/sources/vegetius/> (дата обращения: 10.12.2016).
23. *Монтгомери Б.* Краткая история военных сражений. – URL: <http://fanread.ru/book/7699021/?page=4> (дата обращения: 10.12.2016).

В.М. Латанов,  
кандидат исторических наук, доцент;  
А.В. Лосик,  
доктор исторических наук, профессор

## **О ЗНАЧЕНИИ ВОИНСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТЯХ В ПЕРИОД ИХ СТАНОВЛЕНИЯ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ СОСТАВНОЙ ЧАСТИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ СССР. ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ (ДЕКАБРЬ 1981 – СЕНТЯБРЬ 1989 гг.)**

Работа посвящена исследованию исторического аспекта значения воинской и технологической дисциплины в космических частях<sup>1</sup> в период их становления как новой самостоятельной составной части Вооруженных Сил СССР. Рассматриваются некоторые черты военно-политической обстановки и социально-экономического развития страны в период перестройки, которые, по мнению авторов, в значительной степени обусловили повышенное внимание советского государственно-политического руководства к проблемам воинской и технологической дисциплины. Отмечается особое значение воинской и технологической дисциплины в космических частях, что определялось значительным повышением их роли в укреплении обороны страны, спецификой выполняемых ими задач, особенностями боевой деятельности и дислокации частей запуска КА и управления КА, уникальностью эксплуатируемой ими ракетно-космической техники, другими обстоятельствами.

Ключевые слова: воинская и технологическая дисциплина, государственно-политическое руководство, опытно-испытательная работа (ОИР), боевой расчет, дежурная смена, несение дежурства, космические аппараты (КА), Главное управление космических средств МО СССР (ГУКОС МО), Управление начальника космических средств МО СССР (УНКС МО), Научно-исследовательский испытательный полигон Министерства обороны СССР (НИИП МО СССР), Главный научно-исследовательский испытательный центр МО СССР (ГНИИЦ МО), отдельный научно-испытательный пункт (ОНИП), нарушение технологической дисциплины (НТД)

Проблемы воинской дисциплины в космических частях в период с декабря 1981 по сентябрь 1989 годов приобретали большое значение в силу ряда обстоятельств.

Во-первых, становление космических частей как новой самостоятельной составной части Вооруженных Сил СССР происходило накануне и в условиях перестройки советского общества. В декабре 1981 года ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли решение о выведении космических частей из состава Ракетных войск стратегического назначения и образовании новой самостоятельной составной части Вооруженных сил под руководством Главного управления космических средств МО СССР (ГУКОС МО) [1]. В апреле 1986 года в связи с дальнейшим расширением объема и усложнением возложенных на космические части задач было принято решение [2] о преобразовании ГУКОС МО в Управление начальника космических средств МО СССР (УНКС МО), а в сентябре 1989 года были образованы Военно-космические силы МО СССР. В этот период значительно возросло внимание советского государственно-политического руководства к проблемам трудовой и воинской дисциплины, что было во многом обусловлено сложившейся в стране социально-экономической ситуацией. К середине 80-х годов XX века в СССР стал отчетливо проявляться кризис в экономической и социальной сферах [3]. На предприятиях значительно снизилась трудовая и технологическая дисциплина, имели место расточительство, потери сырья и ценностей, небрежность в использовании энергетического потенциала и природных ресурсов страны.

---

<sup>1</sup> Главное управление космических средств МО СССР (ГУКОС МО), с 1986 года – Управление начальника космических средств МО СССР (УНКС МО), в дальнейшем – космические части.

Несмотря на нараставшие трудности в экономике, советское государственно-политическое руководство выделяло значительные средства на осуществление космических программ, продолжало соперничество с США в освоении космического пространства. Ярким свидетельством тому являлась программа по созданию и введению в действие ракетно-космического комплекса «Энергия – Буран». Однако достаточно успешная реализация этой программы и ряда других космических проектов сопровождалась, как и во всей стране, ухудшением социально-экономической ситуации в регионах дислокации космодромов, научно-исследовательских учреждений, командно-измерительных комплексов и других объектов космических частей.

Социальная неустроенность негативно сказывалась на духовном настрое общества, морально-нравственном состоянии военнослужащих космических частей, вызывала изменение нравственных ценностей, рост бездуховности и скептицизма в оценке деятельности власти. Показателями падения социальных нравов стали очковтирательство и взяточничество, рост пьянства, распространение токсикомании и наркомании, увеличение масштабов преступности.

В таких условиях советское государственно-политическое руководство в ряде своих решений и документов предпринимало попытки объективной оценки состояния боевой готовности, воинской дисциплины в армии и на флоте [4], в космических частях. В них отмечалось, что одной из основных причин происшествий, преступлений, других негативных явлений, подрывающих боевую готовность и моральный авторитет Вооруженных Сил СССР, является недисциплинированность, разгильдяйство, безответственность. Важными задачами перестройки определялись повышение качественного состояния и боевого могущества Советских Вооруженных Сил, их боевой готовности, укрепления дисциплины и организованности, воспитание личного состава в духе высокой идейности и политической бдительности, интернационализма и боевого содружества с воинами братских армий, верности революционным и боевым традициям Коммунистической партии и советского народа [5].

В космических частях, по словам начальника политического управления генерал-лейтенанта И.И. Куринного, главная цель перестройки состояла в достижении нового качественного уровня боевой готовности, недопущении стратегического превосходства противника в космосе, достижении нового политико-морального состояния личного состава, коренном улучшении воинской дисциплины [6].

Во-вторых, большое значение проблемам воинской дисциплины придавалось в связи со сложной, напряженной и противоречивой международной обстановкой и требованиями государственно-политического руководства страны о повышении боевой готовности Вооруженных Сил СССР, космических частей. Несмотря на утверждение «нового политического мышления» в межгосударственных отношениях, цитаделью международной реакции в партийно-государственных документах по-прежнему назывался империализм США [7]. Агрессивные намерения Вашингтона подтверждались его военно-стратегическими концепциями, динамикой военных расходов (в 1981 году – 1,2 трлн. долларов, в 1986–1990 годах – 2 трлн. долларов), расширением зон военного присутствия (по официальным данным США имели за рубежом более 1500 военных баз и объектов на территории 32 государств), «блоковой политикой», в орбиту которой было втянуто более 40 государств и др. [8].

Особую опасность, по мнению государственно-политического руководства Советского Союза, представляли замыслы Белого дома о распространении гонки вооружений на космос. На военно-космические программы к 2000 году США планировали израсходовать 95 млрд. долларов. Что же касается ориентировочной стоимости намеченной США программы «звездных войн», то она должна была составить от 500 млрд. до 2 трлн. долларов [9].

К участию в программе «Стратегическая оборонная инициатива (СОИ)» были привлечены Великобритания, ФРГ, Италия, Израиль и Япония. Правящие круги ведущих стран Запада пытались внушить своим народам, что их безопасность целиком зависит от военных средств, прежде всего от ядерного оружия, от создания СОИ, господствующего положения в космосе.

Лидер КПСС, генеральный секретарь ЦК партии М.С. Горбачёв, во время пребывания на космодроме Байконур с тревогой отмечал: «Какая самая главная опасность СОВЕТСКОГО СОЮЗА? Она разрушает стратегическую стабильность. Гонка вооружений переходит в космос, что еще больше подстегивает гонку вооружений на Земле» [10] и ориентировал руководство страны, Вооруженных Сил на необходимость укрепления оборонной мощи советского государства.

В-третьих, значение крепкой воинской дисциплины обуславливалось качественными изменениями в самом характере воинской службы.

Исследования советских социологов показывали нарастание интеллектуализации воинского труда. Так, если в 1929 году умственный труд красноармейцев составлял около 12 % ежедневного служебного времени, то в 1980-е годы доля умственного труда за день мотострелков первого года службы составляла 65–70 %. Всё более широко проявлялась и такая особенность труда военнослужащих, как его дифференциация и интеграция. В конце 1980-х годов насчитывалось более 2 тыс. воинских специальностей (во время Второй мировой войны их было 160) [11]. При этом усложнялись сами специальности. Квалификация специалистов, работающих на технике, становилась всё более высокой.

К сложным условиям воинской службы относилось длительное дежурство у аппаратов, приборов и механизмов, требующее повышенного внимания и значительных затрат физических и духовных сил военнослужащих.

Наиболее ярко, на наш взгляд, новые элементы и особенности ратного труда проявлялись в космических частях. В рассматриваемый период в них проходили службу военнослужащие около 1000 специальностей и специализаций. Около 15 % военнослужащих космических частей постоянно несли дежурство на командных пунктах, в вычислительных центрах, технических и стартовых космических комплексах, оснащенных самыми современными компьютерными системами и электронно-вычислительной техникой [12]. Усложнение боевой техники и оружия, специализация и разделение воинского труда повышали роль коллективных действий космических подразделений и частей при обслуживании ракетно-космических комплексов, выполнении боевых задач.

Рассмотренные особенности воинской службы, всё более изменяющей свой характер под воздействием научно-технической революций в военном деле, предъявляли повышенные требования к уровню воинской дисциплины, морально-нравственной обстановке в воинских коллективах.

В-четвертых, значение и необходимость укрепления воинской дисциплины определялись новыми изменениями в качественном составе призывного контингента.

В ряде документов советского государства давалась достаточно оптимистичная оценка молодому поколению 80-х годов XX века. Так, Генеральный секретарь ЦК КПСС М.С. Горбачёв в своем выступлении на съезде говорил, что «молодежь у нас трудолюбивая, готовая к подвигу и самопожертвованию, преданная социализму, ее отличают широкий кругозор, образованность, энергия» [13].

Вместе с тем изучение призывного контингента показывало, что в условиях перестройки среди призывной молодежи нарастали явления, оказывающие негативное влияние на отношение молодых воинов к воинскому долгу, их дисциплинированность. Продолжался рост количества молодых воинов, не имеющих отца или матери, употреблявших спиртные напитки и наркотические вещества. Так, в космических частях более 24 % сержантов и солдат воспитывались до армии в неполных семьях, а в период с 1984 по 1991 годы более чем в семь раз возросло число молодых воинов, употреблявших до призыва на военную службу наркотики и токсические вещества [14].

По информации Главного политического управления Советской Армии и ВМФ, в годы перестройки (1986–1989) среди призывного контингента в 2,5 раза увеличилось число молодых граждан, разделяющих идеи анархизма, наметилась тенденция роста лиц, подверженных влиянию пацифизма. В 1987 году на призывные пункты не явились более 1600 юношей, около 300 – по религиозным и другим причинам отказались принимать военную присягу.

В 1988 году в среднем каждый пятый из опрошенных призывников разделял пацифистские взгляды. В 1989 году на космодроме Байконур 18 % молодого пополнения весеннего призыва заявили о своем нежелании выполнять воинский долг [15].

Рост пацифистских настроений, негативного отношения к армейской службе, усиление некоторых других тенденций среди части призывной молодежи в определенной степени были связаны с тем, что в условиях перестройки, расширения гласности в советской печати появились ряд поверхностных, некомпетентных публикаций, подрывающих авторитет Вооруженных Сил, престиж воинской службы. В некоторых из них преимущественно в осудительно-сатирическом тоне освещались такие основы боевой готовности, как строжайшее соблюдение воинской дисциплины, единоначалие, уставной порядок, армейское сообщество порой приравнялось к тюремному. «Все это, – указывалось в постановлении Секретариата ЦК КПСС от 29 апреля 1989 года, – отрицательно сказывается на воспитании молодежи, ... её ответственности за выполнение конституционного долга по защите социалистического Отечества» [16].

Таким образом, значение воинской дисциплины в Вооруженных Силах СССР, космических частях в исследуемый период было обусловлено задачами перестройки Вооруженных Сил, сложной, напряженной и противоречивой международной обстановкой в условиях утверждения нового политического мышления, качественными изменениями в характере воинской службы, составе призывного контингента, другими факторами.

Особое значение проблемы повышения организованности и дисциплины приобретали в космических частях, что диктовалось в первую очередь значительным ухудшением ее состояния накануне перестройки. В период с 1982 по 1985 годы количество происшествий и преступлений в космических частях возросло в 1,7 раза, почти в 2 раза увеличилось число военнослужащих, осужденных за совершенные правонарушения военными трибуналами, в 1,5 раза – погибших военнослужащих. Среди участников происшествий и преступлений около 10–12 % составили офицеры [17]. Особую тревогу вызывали нарушения технологической дисциплины (НТД), количество которых в космических частях было довольно высоким и не снижалось (в 1982 году – 16 НТД; 1984-м – 17 НТД; 1985-м – 16 НТД) [18].

Особое значение воинской дисциплины в космических частях в рассматриваемый период диктовалось возрастанием их роли в укреплении обороноспособности страны, усилении боевой мощи армии и флота, расширением и усложнением решаемых ими задач.

В 1980-е годы военно-политическая обстановка характеризовалась интенсивным освоением новой сферы вооруженной борьбы – космического пространства. По мнению советских военных специалистов освоение космического пространства как новой сферы вооруженной борьбы позволяло вести военные действия, если к этому вынудит противник, наиболее соответствующие глобальному характеру современной войны, решать задачи обеспечения боевой деятельности Вооруженных Сил на качественно новом уровне, недостижимом для традиционных средств. «Только реализация космических программ военного назначения, – отмечалось в докладе председателя Совета министров СССР Н.И. Рыжкова «О программе предстоящей деятельности правительства СССР» на первом съезде народных депутатов СССР, – ... повысит боевую эффективность наших Вооруженных Сил в 1,5-2 раза». Более того, применение космических сил и средств в 1989 году позволяло повысить эффективность боевых действий Ракетных войск стратегического назначения в 2,4 раза, Военно-морского флота – в 2,5 раза, Военно-воздушных сил – в 1,6 раза [19].

Накануне и в годы перестройки значительно расширились и усложнились задачи, возложенные на космические части. Выступая перед активом 153 ГНИИЦ МО в феврале 1984 года, начальник космических средств МО СССР генерал-полковник Максимов А.А., подчеркивал: «Сегодня, когда президент США Рейган открыто ведет подготовку к «звездным войнам», мы не можем оставаться только инженерами, мы должны быть воюющими командирами, овладевать оперативным искусством проведения боевых операций и сражений в космосе, из космоса, вопросами обороны и нападения в космосе, маневрирования, обеспече-

ния выполнения боевой задачи в любых сложных условиях» [20]. В Руководстве по применению соединений и частей космических средств МО СССР указывалось, что космические части предназначены для обеспечения деятельности видов Вооруженных Сил в мирное и военное время, для подготовки и запуска космических аппаратов, развертывания и поддержания в установленном составе орбитальной группировки, управления функционирующими на орбите космическими аппаратами (КА) различного назначения, приема, хранения и поддержания в установленной технической готовности запасов космических средств, проведения различных испытаний и отработки перспективных образцов космических средств. Кроме того, космические части обеспечивают выполнение задач по научной, народнохозяйственной тематике и международному сотрудничеству в области космоса. Для решения поставленных задач создается наземная группировка частей космических средств и орбитальная группировка КА [21].

Доказательством сложности и масштабности возложенных на космические части задач, стали успешные испытания универсальной ракетно-космической системы «Энергия – Буран» в мае 1987 и в ноябре 1988 года. В документах КПСС и Советского правительства отмечалось, что использование новой космической транспортной системы в сочетании с одно-разовыми ракетами-носителями и постоянно действующими орбитальными пилотируемыми комплексами дает возможность сосредоточить основные усилия и средства на тех направлениях освоения космоса, которые обеспечивают максимальную экономическую отдачу народному хозяйству [22].

Значительный вклад космические части вносили в выполнение программ международного сотрудничества в области космоса. В 1988 году боевыми расчетами 5 НИИП МО и 153 ГНИИЦ МО были осуществлены успешные запуски трех космических кораблей «Союз-ТМ» с советско-индийским, советско-сирийским и советско-французским экипажами на борту. Только на космодроме Байконур с 1986 по 1989 годы побывали более 50 партийно-правительственных делегаций, а также представители зарубежных фирм из 40 стран [23].

Отмечая особое значение возложенных на космические части задач, начальник Главного политического управления СА и ВМФ генерал армии А.Д. Лизичев в своем выступлении на партийной конференции космодрома Байконур в 1985 году подчеркнул: «Вы решаете не только научно-технические и военные задачи, но и оказываете и политическое, и дипломатическое влияние на целые страны и их руководителей, а через научно-технические достижения поднимаете престиж страны, нашей общественно-политической системы, в целом влияете на международные отношения» [24].

Особое значение воинской дисциплины в космических частях обуславливалось условиями их боевой деятельности. Части новой структуры Вооруженных Сил СССР осуществляли запуски КА и управление ими на околоземной орбите (в отличие, например, от Ракетных войск стратегического назначения, несущих дежурство в готовности к применению ракетно-ядерных средств), несли дежурство (боевое дежурство), проводили испытания новой космической техники, постоянно взаимодействовали с коллективами предприятий, учреждений оборонной промышленности, народного хозяйства, Академии наук СССР.

Исследование показывает, что в рассматриваемый период боевыми расчетами 5 и 53 НИИП МО (научно-исследовательские испытательные полигоны Министерства обороны) проведены запуски свыше 1100 КА. В целях поддержания орбитальной группировки в боеготовом состоянии, повышения эффективности оперативно-стратегического обеспечения Вооруженных Сил в космических частях было организовано дежурство (боевое дежурство). Личным составом дежурных смен в 1982–1987 годах осуществлялось управление 1562 КА, среди которых более 80 % были военного назначения [25]. В целом это обеспечивало высококачественное решение стратегических и оперативных задач в интересах различных видов и родов войск. Вместе с тем были и нарушения правил дежурства, которые приводили к срыву поставленной задачи. Так, 17 июля 1984 года по вине одного из номеров дежурной смены в войсковой части 34436 на борт космического аппарата была заложена искаженная инфор-

мация, что привело к перерыву в навигационном обеспечении средств Военно-морского флота на 1 ч 18 мин.

Росла интенсивность проводимых космическими частями научно-испытательных работ. Анализ свидетельствует, что только в XII пятилетке предстояло испытать и принять на вооружение порядка 40 космических комплексов. По сравнению с XI пятилеткой возрос на 50–60 % объем заказов по числу опытно-конструкторских, научно-исследовательских работ и образцов, принимаемых на вооружение [26].

Не имели аналогов в Вооруженных Силах СССР боевые расчеты запуска КА, которые, как правило, включали от 300 до 1500 и более человек. Запуск космического корабля «Союз ТМ-7» с международным экипажем в составе космонавтов А. Волкова, С. Крикалева и гражданина Франции Жан-Лу Кретьена на борту осуществлял боевой расчет космодрома Байконур, включающий около 700 военнослужащих [27]. Уникальным по составу явился боевой расчет при испытаниях универсальной ракетно-космической системы «Энергия – Буран», насчитывавший свыше 10 тыс. человек [28]. Особый характер деятельности боевых расчетов отмечал лидер Советского государства, генеральный секретарь ЦК КПСС М.С. Горбачёв во время пребывания на космодроме Байконур. «Здесь нет деления на основную и вспомогательную работу, – говорил он, – можно сказать, что от каждого зависит многое, да почти всё, самое главное – конечный результат. Нельзя ошибиться ни в большом, ни в малом» [29].

Одним словом, условия боевой деятельности военнослужащих космических частей диктовали настоятельную необходимость поддержания высокой воинской и технологической дисциплины, сплочения воинских коллективов, усиления воспитательной работы.

Воинская дисциплина в космических частях имела особое значение в связи с исключительной сложностью и уникальностью ракетно-космической техники, огромными экономическими потерями в случае вывода из строя космических средств и комплексов по халатности и недисциплинированности номеров боевых расчетов и дежурных смен.

Военнослужащие космических частей проводили испытания новейших ракетно-космических систем «Энергия – Буран», «Мир», «Салют», «Союз», «Прогресс», «Грань», «Горизонт», «Облик», «Янтарь» и др. В процессе испытаний они тесно сотрудничали с представителями многочисленных предприятий и учреждений оборонной промышленности, народного хозяйства, Академии наук СССР. Только в строительстве, монтаже и наладке оборудования, испытании технических и стартовых комплексов, осуществлении подготовки и запуска универсальной ракетно-космической и транспортной системы «Энергия» и орбитального корабля «Буран» совместно с личным составом космических частей участвовали представители более 40 министерств и ведомств СССР, 50 головных и свыше 1000 смежных организаций [30].

Специфика деятельности космических частей отмечалась государственно-политическим руководством страны. Генеральный секретарь ЦК КПСС во время пребывания на космодроме Байконур говорил, что «космонавтика находится на переднем крае научно-технического прогресса, олицетворяет достижения многих отраслей науки и техники нашей страны. Здесь, по сути, сосредоточен потенциал интеллекта и конечный итог многих десятков научно-исследовательских, конструкторских организаций, крупнейших машиностроительных предприятий страны. Это настоящий полигон передовой инженерной мысли и ... оснащен он на всех главных направлениях по последнему слову науки и техники» [31]. Все это предъявляло повышенные требования к воинской и технологической дисциплине в космических частях. Практика подтверждала, что несоблюдение установленных правил эксплуатации и халатное отношение к ним могут не только привести к невыполнению возложенных задач, но и нанести значительный экономический ущерб. Так, 12 января 1988 года из-за недисциплинированности, несогласованности и халатности личного состава боевого расчета в войсковой части 32103 был выведен из строя новый КА «Ресурс-Ф2», проходящий летно-конструкторские испытания. В результате только прямые экономические потери составили

более 20 млн. руб., а с учетом ожидаемого эффекта от функционирования КА на околоземной орбите совокупные экономические потери составили около 50 млн. руб. [32].

Наконец, огромное значение дисциплины и организованности в космических частях диктовалось особенностями их дислокации, сложной идеологической, криминогенной и экологической обстановкой в ряде регионов их расположения и в связи с этим трудными культурными, социально-бытовыми и климатическими условиями жизни и деятельности военнослужащих и членов их семей.

В исследуемое время боевые порядки космических частей располагались на территории 12 союзных республик, 36 краев и областей, 11 военных округов. Подразделения и части отдельного морского командно-измерительного комплекса (ОМКИК), входящие в состав 153 ГНИИЦ МО, выполняли задачи в морях Тихого, Атлантического и Индийского океанов во главе с флагманом советского научного флота – научно-измерительным судном (НИС) «Космонавт Юрий Гагарин». Более 70 % частей дислоцировались в районах с суровыми климатическими условиями, на значительном удалении от крупных промышленных и культурных центров [33].

В ряде регионов расположения космических частей складывалась сложная идеологическая и криминогенная обстановки. В районе 53 НИИП МО было размещено около 20 лагерей заключенных. Почти 20 % жителей Плесецкого района, в котором находится этот полигон, были осуждены, в том числе и за пособничество гитлеровской Германии. В период 1985–1988 годов участились случаи националистических выступлений в районах расположения космических частей в Казахстане, Узбекистане, Грузии, Эстонии, Бурятской автономной республике. В частности, после известных событий в Алма-Ате в декабре 1980 года факты националистических проявлений отмечались в городе Ленинске, в котором проживали около 70 тыс. военнослужащих и членов их семей 5 НИИП МО и 8,7 % жителей коренного населения казахской национальности. Более того, в районе космодрома Байконур проживали около 147 тыс. немцев и выходцев из Китая, часть которых поддерживали постоянные связи с родственниками за рубежом. В местах дислокации частей 5 НИИП МО, 1272 и 1273 Центров Командно-измерительных комплексов в последние годы были неединичные случаи попыток заброски антисоветской литературы [34].

По мнению ряда советских руководителей и ученых, шел процесс ухудшения экологической обстановки в районе Аральского моря, на восточном побережье которого вдоль реки Сыр-Дарья была расположена главная космическая гавань страны – космодром Байконур. Как отмечал председатель правительственной комиссии по Аральскому морю, созданной в апреле 1987 года, член-корреспондент АН СССР Ю.А. Израэль: «Экологическая и санитарно-эпидемиологическая обстановка в районе Аральского моря и низовьях впадающих в него Аму-Дарья и Сыр-Дарья исключительно остра, она требует чрезвычайных и дорогостоящих мер» [35]. Первый секретарь Кзыл-Ординского обкома Компартии Казахстана, Герой Социалистического Труда Е. Ауельбеков в своей статье в журнале «Коммунист» в июле 1988 года подчеркнул, что «показатели, характеризующие состояние экологии в регионе, ... таковы, что перед ними меркнут даже цифры, приведенные в выступлении товарища Чазова на конференции» и предложил объявить зону Аральского моря зоной экологического бедствия, срочно определить чрезвычайные меры по ее ликвидации [36].

Большое влияние на морально-нравственный климат в воинских коллективах, состояние воинской дисциплины оказывало значительное отставание социальной сферы от реально необходимых потребностей в ее развитии в космических частях. Как подчеркнул Генеральный секретарь ЦК КПСС М.С. Горбачёв во время пребывания на космодроме Байконур: «Люди здесь живут и работают в суровых условиях. В этой связи вопросы быта и отдыха военнослужащих, рабочих и служащих, членов семей приобретают особо важное значение» [37].

В 1987 году около 30 % офицеров космических частей не имели квартир, на 20–25 % были перегружены офицерские общежития, остро стояли вопросы о детских дошкольных учреждениях и трудоустройстве жен офицеров. Свыше 25 % детей не были устроены в детских



садах [38]. Требовались решительные меры по значительному расширению (примерно в два раза) сети комбинатов бытового обслуживания, бань и прачечных, торговой сети [39]. Особенно тяжелое положение сложилось на 5 НИИП МО (космодром Байконур) – главной космической базе страны. Полигон, созданный Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 февраля 1955 года № 292-181 [40] первоначально на 5 тыс. человек, за истекшие годы многократно увеличился. К 1 января 1987 года общая численность населения полигона составляли более 150 тыс. человек [41].

Однако на протяжении всего времени развитие социально-бытового и культурного строительства отставало, что вызывало серьезную обеспокоенность командования космических частей. Выделенные на социальные нужды капитальные вложения в X и XI пятилетках были освоены на 45–50 %. В начале 1987 года свыше 11 % семей военнослужащих не имели квартир или жили с подселением. Около 60 % их детей не были обеспечены детскими садами и яслями. Имеющиеся дошкольные учреждения были перегружены на 20–30 % [42].

В частях управления КА 153 ГНИИЦ МО в 1988 году не хватало 33 % школ, 25 % детских садов, 15 % жилых домов для офицерского состава и прапорщиков, их семей [43].

Сложившееся положение дел отрицательно влияло на состояние дисциплины. С начала рассматриваемого периода отмечался неуклонный рост количества происшествий и преступлений на космодроме. В 1985 году количество таких нарушений воинской дисциплины, по сравнению с 1982 годом возросло в 3 раза. Причем значительная часть (30 %) нарушений совершались офицерами и прапорщиками<sup>2</sup>. В частях 153 ГНИИЦ МО с 1982 по 1986 год число происшествий и преступлений увеличилось в 1,5 раза, в том числе среди офицеров – более чем в 2 раза [44].

Таким образом, особое значение воинской дисциплины в космических частях определялось значительным повышением их роли в укреплении обороны страны, спецификой выполняемых ими задач, особенностями боевой деятельности и дислокации частей запуска КА и управления КА, уникальностью эксплуатируемой ими ракетно-космической техники, сложностью идеологической, криминогенной и экологической обстановки в ряде районов расположения космических частей, серьезными проблемами в состоянии и развитии культурной и социально-бытовой сферы жизни военнослужащих и их семей.

### Список используемых источников

1. ЦАМО. – Ф.1555. – Д. 244. – Л. 41.
2. Архив войсковой части 55576. – Инв.106. – Л. 98.
3. История России IX–XX вв.: учебник / под. ред. Г.А. Аммона, Н.П. Ионичева. – М.: ИНФРА-М, 2002. – С. 733–734.
4. В Политбюро ЦК КПСС // Правда. – 1987. – 31 мая; Материалы Пленума Центрального Комитета КПСС, 25-26 июня 1987 г. – М.: Политиздат, 1987. – С.19;
5. Приветствие ЦК КПСС, Президиума Верховного Совета СССР и Совета Министров СССР воинам и ветеранам Вооруженных Сил Советского Союза в связи с 70-летием Советской Армии и Военно-Морского Флота // Правда. – 1988. – 23 февраля.
6. Латанов В.М. Партийное руководство деятельностью командиров, политорганов и партийных организаций соединений и частей Космических средств МО СССР по укреплению воинской дисциплины (1982–1989): дисс. ... канд. истор. наук. – М., 1990. – С. 20.
7. Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. – М.: Политиздат, 1986. – С. 13–20, 62–76, 99–100, 170–182.

<sup>2</sup> Подсчитано автором по данным архива войсковой части 11284.

8. Милитаризм: цифры и факты / под общ. ред. Фарамазяна. – М.: Политиздат, 1985. – С. 52–55.
9. Громыко А.А., Ломейко В.Б. Новое мышление в ядерный век. – М.: Международные отношения, 1984. – С. 71.
10. Горбачёв М.С. Быть патриотом своей Родины, жить и работать по совести // Избр. речи и статьи. – М.: Политиздат. – 1988. – С. 51.
11. Воробьёв К., Беляков Н. Вооруженные Силы – школа ратного труда, воинской выучки, коллективизма и мужества // В помощь лектору. – 1984. – № 4 (90). – С. 28.
12. Архив войсковой части 57275. – Д. 300. – Л. 40–45.
13. Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. – М.: Политиздат, 1986. – С. 58.
14. Латанов В.М. Партийное руководство деятельностью командиров, политорганов и партийных организаций соединений и частей Космических средств МО СССР по укреплению воинской дисциплины (1982–1989): дисс. ... канд. истор. наук. – М., 1990. – С. 22.
15. Там же. – С. 23.
16. Об освещении в центральной печати жизни и деятельности Советских Вооруженных Сил: постановление Секретариата ЦК КПСС, 29 апреля 1989 г. // Красная звезда. – 1989. – 6 июля.
17. Архив войсковой части 55576. – Инв. 1870. – Л. 16–42; инв. 130. – Л. 104.
18. Архив войсковой части 57275. – Инв. 290. – Л. 1–103.
19. Рыжков Н.И. О программе предстоящей деятельности правительства СССР // Правда. – 1989. – 8 июня.
20. ЦАМО. – Ф. 1555. – Оп. 941988с. – Д. 16. – Л. 36.
21. Руководство по применению соединений и частей космических средств Министерства обороны СССР. – М., 1988. – С. 4.
22. Приветствие ЦК КПСС, Президиума Верховного Совета СССР и Совета Министров СССР ученым, конструкторам, инженерам, техникам, рабочим, строителям, военным специалистам, всем участникам создания и осуществления запуска универсальной ракетно-космической транспортной системы «Энергия» и орбитального корабля «Буран» // Правда. – 1988. – 16 ноября.
23. Архив войсковой части 55576. – Д. 2. – Л. 93–94; д. 43. – Л. 275.
24. Архив политического отдела войсковой части 11284. – Инв. 500. – Л. 84.
25. Руководство по применению соединений и частей космических средств Министерства обороны СССР. – М., 1988. – С. 4.
26. Архив войсковой части 55576. – Д. 48. – Л. 61; д. 55. – Л. 13.
27. Архив войсковой части 44275. – Д. 12. – Л. 17–18.
28. Архив войсковой части 55576. – Д. 12. – Л. 18.
29. Горбачёв М.С. Быть патриотом своей Родины, жить и работать по совести // Избр. речи и статьи. – М.: Политиздат. – 1988. – С. 46.
30. Архив политического отдела войсковой части 11284. – Д. 5. – Л. 2–11.
31. Горбачёв М.С. Быть патриотом своей Родины, жить и работать по совести // Избр. речи и статьи. – М.: Политиздат. – 1988. – С. 44–45.
32. Архив войсковой части 32103. – Инв. 1811. – Л. 40–41.
33. Архив войсковой части 55576. – Инв. 31. – Л. 170.
34. Архив войсковой части 55576. – Д. 10. – Л. 54–55.
35. Спасение моря // Правда. – 1988. – 12 сентября.
36. Е. Ауельбеков. Единственно возможная привилегия // Коммунист. – 1988. – № 11 – С. 10–16.
37. Горбачёв М.С. Быть патриотом своей Родины, жить и работать по совести // Избр. речи и статьи. – М.: Политиздат. – 1988. – С. 50.
38. Архив войсковой части 57275. – Д. 117. – Л. 11–18; д. 120. – Л. 44–46.

39. ЦАМО. – Ф.70. – Оп. 842914. – Д. 1. – Л. 2.
40. Архив войсковой части 44275. – Д. 5. – Л. 61–66.
41. Там же. – Л. 62–65.
42. Архив войсковой части 57275. – Д. 300. – Л. 25.
43. Там же. – Л. 25–26.
44. Архив войсковой части 57275. – Инв. 636. – Л. 1–400; инв.6725. – Л. 1–450; инв. 130. – Л. 1–400; д. 277. – Л. 1–400; д. 277. – Л. 1–390; д. 277. – Л. 1–395.

В.П. Огородников,  
*доктор философских наук, профессор*

## **РОЛЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ГУМАНИТАРНЫХ ДИСЦИПЛИН ВОЕННОГО ВУЗА В УСЛОВИЯХ ОБОСТРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИДЕОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЙНЫ**

Определяется роль преподавателя гуманитарных дисциплин в военном вузе на весьма сложном этапе развития, переживаемом сегодня Россией. Рассматриваются объективные и субъективные факторы, детерминирующие становление мировоззрения будущего офицера. Аргументируется возрастание значения гуманитарных наук в условиях обострения информационно-идеологической войны.

Ключевые слова: информационно-идеологическая война, идеология, научное мировоззрение, плюрализм, истина, патриотизм.

Цель настоящей работы – раскрыть роль преподавателя гуманитарных дисциплин военного вуза в условиях обострения информационно-идеологической войны. Для практики преподавания полезно сделать это в контексте определяемых учебными программами компетенций, рассмотреть объективные и субъективные факторы, детерминирующие становление будущего офицера.

Роль личности преподавателя в процессе освоения обучающимися любой дисциплины трудно переоценить. Особенно высока эта роль в преподавании гуманитарных дисциплин в военном вузе, что определяется следующими обстоятельствами. Безусловно, главной задачей военного образования в России является образование и воспитание высококлассного специалиста-офицера, обладающего кроме специальных знаний, умений и компетенций целевыми жизненными установками на сохранение и приумножение боевой мощи России, готовности быть верным присяге Родине.

Вместе с тем в каждый новый период развития общества и Российского государства требования к преподавателю, к характеристикам его личности, особенно если речь идет о гуманитарных дисциплинах, приобретают свои особенности. Специфика целеполагания для военного образования сегодняшней России определяется приводимыми ниже экономико-политическими и идеологическими реалиями, и прежде всего обострением информационно-идеологической войны против России.

Что такое информационно-идеологическая война? Почему здесь использован такой термин вместо ставшего уже привычным термина «информационная война»? Дело в том, что информационная война сегодня часто ассоциируется с хакерскими атаками – внедрением вирусов, троянских программ, почтовые червей, сниффехров, руткитов и других специальных программ в информационные системы противника для получения доступа к закрытой информации, блокирования АСУ (в том числе военных), банковских операций и т. п.

Такая узкая трактовка ограничивает понятие «информационная война» как по содержанию, так и по объему, сопоставляет это понятие только с процессами, присущими обществу, входящему в «информационную цивилизацию».

Вместе с тем информационная война – феномен, наблюдающийся на всех этапах человеческой цивилизации. История России дает массу ярких примеров того, как ее враги использовали всевозможные методы фальсификации исторических и даже природных фактов с тем, чтобы оправдать попытки присоединения земель, порабощения русского народа, получить какие-либо экономические или политические преференции. В связи с этим основанием и главным оружием в информационной войне является некоторая экономическая, геополити-

ческая, религиозная, правовая, этическая, эстетическая, экологическая и тому подобная идеология.

Идеология обобщенно представляет собой систему политических, правовых, нравственных, религиозных, эстетических и философских взглядов, принципов и убеждений, в которой осознаются и оцениваются природные и общественные процессы и взаимодействие природы и общества. Реализуется такая идеология в формах общественного сознания. Поэтому отдельный человек чаще всего является «носителем» только каких-то элементов идеологической системы, тех, которые так или иначе отражают его конкретную жизнедеятельность, профессиональные занятия и тому подобное.

Следует еще различать обыденный и научный уровни всякой идеологии. До научного уровня «дорастают» лишь отдельно взятые ученые-специалисты, объединенные в научные сообщества. Но и они не могут представлять единую систему научного мировоззрения, научной идеологии.

Такая ситуация тысячелетиями является чрезвычайно благоприятной для всевозможных фальсификаций фактов. При этом, как и в юриспруденции, нужно отличать добровольное заблуждение от сознательной фальсификации истины, имеющей целью ввести в заблуждение большие группы людей, вооружить их друг против друга при помощи ложной идеологии.

Так, сформулированная еще во времена правления Анны Иоанновны (в XVIII веке) «Норманнская теория» до сих пор служит основанием для утверждений о превосходстве западных наций над славянами в политическом, экономическом и культурном плане. Подобная идеология является составной частью информационной войны Запада против России. Информационно-идеологическая война выступает, в свою очередь, системообразующим основанием «холодной войны», часто перерастающей, как показали Первая и Вторая мировые войны, в «горячую» фазу.

Большинство политологов справедливо считают, что главной целью информационно-идеологической войны, которую сегодня ведет против России Запад, является организация «оранжевой революции» в России с последующим захватом Кремля проамериканскими силами.

Однако по существу одна такая «революция» уже произошла в нашем обществе в 1991 году, когда без выстрела был уничтожен СССР, а Россия, на весь период «лихих 90-х», практически перешла, как это признают сегодня многие серьезные политики, под внешнее управление.

25 апреля 2005 года Президент России В. Путин в послании Федеральному Собранию Российской Федерации охарактеризовал распад СССР следующими словами: «Прежде всего, следует признать, что крушение Советского Союза было крупнейшей геополитической катастрофой века. Для российского же народа оно стало настоящей драмой. Десятки миллионов наших сограждан и соотечественников оказались за пределами российской территории. Эпидемия распада к тому же перекинулась на саму Россию»[1].

Помимо экономических и политических причин развала СССР необходимо назвать и информационно-идеологическую войну, которую Запад вел против СССР в течение всех семидесяти лет существования Союза.

В Отчете Национального совета по безопасности США 18 августа 1948 года (знаменитый план главы ЦРУ США Аллена Даллеса) были сформулированы основные формы и цели информационной войны против СССР:

1. Добиться трансформации национального самосознания и мировоззрения граждан СССР при помощи всех форм искусства и литературы. Проникновение с Запада соответствующих книг, кинофильмов, произведений изобразительного искусства должно было обеспечить насаждение культа секса, насилия, садизма, предательства.

2. Способствовать самодурству чиновников, процветанию взяточников и беспринципности. «Бюрократизм и волокита будут возводиться в добродетель. Честность и порядочность будут осмеиваться и никому не станут нужны, превратятся в пережиток прошлого».

3. Фальсифицировать историю государства России, особенно новейший «коммунистический» период, с тем, чтобы население возненавидело свое прошлое, превратилось из патриотов в космополитов.

4. Показать утопичность и вред мифа о коммунизме.

5. Выполнение указанных задач позволит добиться главной цели – разрушения и ликвидации СССР «без обращения к войне» [2].

Критерием истины является, как известно, практика. Можно сколько угодно сомневаться в подлинности «плана Даллеса», но то, что произошло в 80–90-е годы в России и с Россией не оставляет сомнения, что этот план был осуществлен, информационно-идеологическая «обработка» россиян была проведена блестяще и главная цель достигнута.

В результате разрушения СССР, прекращения деятельности Организации Варшавского договора, перехода к «рыночной экономике», практически одностороннего разоружения, предпринятого новым руководством России, глубокого кризиса российской экономики был ликвидирован существовавший все послевоенные десятилетия военный паритет, баланс в противоборстве СССР и США.

Мир перешел к «однополярной» системе, что привело к резкому снижению обороноспособности России и увеличению военных конфликтов в мире, территориально приблизившихся сегодня к границам Российской Федерации. Создались реальные условия для перехода холодной войны между Россией и Западом в «горячую фазу».

Сказанное определяет основные задачи, стоящие перед преподавателем гуманитарных дисциплин военного вуза в современных условиях. По сути, эти задачи воспроизводятся в перечне компетенций, которые должны быть сформированы в процессе преподавания гуманитарных дисциплин. Рассмотрим связь формируемых в процессе обучения компетенций с требованиями к личности преподавателя гуманитарных дисциплин в высшем военном учебном заведении.

Исходной компетенцией, которой должен обладать выпускник военного учебного заведения, освоивший цикл гуманитарных дисциплин, является «овладение целостной системой научных знаний об окружающем мире, способность ориентироваться в ценностях бытия, жизни и культуры».

Задача по формированию данной компетенции чрезвычайно повышает требования к преподавателю гуманитарных дисциплин. Сегодняшний преподаватель гуманитарных дисциплин в военном вузе должен обладать глубокими знаниями не только в той области, где он является профессионалом. Набирающая всё большие обороты информационно-идеологическая война Запада против России требует от такого преподавателя обладания целостной системой знаний основных научных положений философии, истории, социологии, политологии, экономики, психологии, права и даже современного естествознания. Без этого он не может быть представителем научного мировоззрения, не сможет опровергнуть антинаучные и псевдонаучные идеи, используемые Западом как главное оружие в информационно-идеологической войне против России. [3] Не будет преувеличением заявить, что преподаватели гуманитарных дисциплин военного вуза находятся на переднем крае этой войны. Поэтому одной из главных задач образования и воспитания будущих офицеров является формирование у них целостного, системно организованного научного мировоззрения.

Известны случаи, когда профессионалы высочайшего класса в одной из специальных научных областей, являются носителями и даже пропагандистами ненаучных и антинаучных взглядов. Такие ученые оказываются подчас в плену у самых средневековых суеверий, ненаучных взглядов на развитие общества, объективные и субъективные основания социального прогресса.

Псевдонаучные взгляды – одно из действенных орудий информационной войны. Принцип «разделяй и властвуй» реализуется, например, в модной до сих пор идее «социальной динамики» П. Сорокина (1889–1968). С точки зрения этой концепции «вертикальная динамика», то есть достижение определенными людьми высших страт (слоев) общества, обеспечивается

исключительно индивидуальными качествами личности – ее интеллектом, врожденными талантами, работоспособностью и т. п. Получается, что от общества и государства, социального строя практически ничего не зависит.

С другой стороны, как показала новейшая история естествознания, центрообразующим основанием единого научного мировоззрения может быть только научная, материалистическая философия. Любой преподаватель вуза должен быть носителем научного мировоззрения. В условиях насаждаемых СМИ суеверий, паранаучных взглядов, новых и старых мифов это нелегко осуществить даже представителям старшего поколения преподавателей.

Научное мировоззрение является основанием подлинной духовной культуры, неразрывно связанной с системой (а не конгломератом) взглядов на мир, человека и их взаимодействия. Критерием научности во всей истории научного познания выступала логичность – отсутствие логических противоречий внутри системы высказываний, претендующей на научную концепцию.

Вместе с тем до сих пор осуществляются попытки отождествить логичность с истинностью. Однако далеко не все логично изложенное – истина, но всякая истина должна быть логично изложена. Вот почему преподавателю высшей школы, независимо от преподаваемой дисциплины, необходимо владеть основами формальной логики. Это обстоятельство подчеркивается и соответствующими компетентностными требованиями к курсанту, будущему офицеру, который должен быть «способен к логическому мышлению, обобщению, анализу, критическому осмыслению, систематизации, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их решения...».

К сожалению, в последние десятилетия знакомство с логикой отменено как для средней, так и для высшей школы, что ощущается даже в формулировке вышеприведенной компетенции. Термин «логическое мышление» сам алогичен, ибо мышление и есть логический уровень сознания, поэтому «алогичного мышления» быть не может.

Логические ошибки ведут к краху любую деятельность, а нелогичное изложение материала ведет к непониманию любой дисциплины. На владении логикой базируются и аналитические способности, являющиеся атрибутом любого преподавателя.

Для выпускника военного учебного заведения важнейшей общекультурной компетенцией является «способность действовать в соответствии с Конституцией Российской Федерации, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма». Всё это выдвигает в качестве центральной задачи военного образования формирование истинного патриотизма у обучаемых. Для ее решения необходим преподаватель, который сам отчетливо понимает сущность патриотизма и то, что патриотизм может найти свое идейно-теоретическое основание только в общенациональной идеологии. В то же время именно разрушение общенациональной российской идеологии является одной из важнейших составляющих информационно-идеологической войны против России. Покажем, в чем это проявляется.

Проводившаяся после ликвидации СССР идеологическая и культурная «десоветизация» сопровождалась и деидеологизацией, опирающейся всё же на одну идею – идею плюрализма, декларирующую *равноправное* многообразие всего – от причин природных и общественных процессов, до оснований «демократизации» российского общества и даже критериев истины в науке.

Идея плюрализма лежит в основании концепции «рыночной экономики» и связанной с этой деструктивной идеей политики «шоковой терапии», перехода от коллективизма к крайнему индивидуализму: «Каждый за себя один бог за всех». Именно на этом фоне требование ухода от общенациональной идеи, деидеологизация, явилось важнейшей составляющей информационно-идеологической войны Запада против России.

Идеологический плюрализм упраздняет теоретические основания всякой идеологии, включая научное мировоззрение, и разрушает любое мировоззрение. Дело в том, что всякое мировоззрение является системой знаний и представлений. Эта система зависит от того, ка-

кие элементы в нее входят, и от того, на каком философском основании эти элементы связываются друг с другом. Логика требует, чтобы основание систематизации было одно и притом было существенным, а элементы системы (в случае мировоззрения – знания) были истинными и не противоречили друг другу.

Идея плюрализма, в сущности, антинаучна. Не случайно Пол Фейерабенд (1924–1994) призывал упразднить науку и научную методологию, предлагая вместо них использовать «анархистскую эпистемологию», с позиций которой «всё дозволено» – можно и должно использовать любые методы познания, включая гадание на кофейной гуще, астрологические «методы» и т. п. Крайний индивидуализм, подкрепляемый такими идеями, был одним из субъективных оснований разрушения СССР и других стран, исчезнувших с карты мира или потерявших свой суверенитет. Ясно, что индивидуализм, погоня за наживой разлагают любое общество и в сути своей противоположны патриотизму.

Конституция РФ в ст. 13-й указывает: «В Российской Федерации признается идеологическое многообразие. Никакая идеология не может устанавливаться в качестве государственной или обязательной» [4]. Это – в чистом виде идеологический плюрализм. А как же идейное, духовное единство нации? Плюрализм упраздняет это единство. Так в угоду абстрактным «общечеловеческим» интересам были попораны интересы нации.

Как уже отмечалось, критерием истины признается в науке человеческая практика, направленная на целесообразное преобразование окружающей действительности и общества. В этом контексте самым простым аргументом против плюрализма является известная басня И.А. Крылова «Лебедь, щука и рак». Названные герои басни взялись с поклажей воз везти, но были истинными плюралистами не только в убеждениях, но и в действиях: «Лебедь рвется в облака, Рак пятится назад, а Щука тянет в воду». Результат этих плюралистических усилий известен – «воз и ныне там». Наши отечественные плюралисты добились большего – воз (СССР) разорвали на части, а потом взялись разорвать и Россию.

Известно, что во все времена Россия выигрывала войны благодаря не только (а иногда и не столько) превосходству военной техники, но и высокой моральной стойкости, идейному сплочению русского воинства.

Основанием идейного единства может быть лишь общенациональная идея. О такой идее у нас начали говорить еще в эпоху поздней перестройки. Искали ее в православии, но потом, вспомнив о религиозном многообразии России, вернулись к религиозному плюрализму.

Упорно насаждаемый плюрализм, как, якобы, основа демократии, является в самом деле весьма мощной теоретической основой продолжающейся информационно-идеологической войны против нашей страны.

Информационная война это – фальсификация истории, философии, социологии, политологии, культурологии, психологии. Деидеологизация обернулась идеологией «демократии», во имя которой были уничтожены суверенитет Югославии, Ливии, Ирака, Украины и сегодня пытаются уничтожить Сирию.

Гуманитарные науки несут очень высокую идеологическую нагрузку именно в кризисные периоды развития. Только гуманитарные науки могут вскрыть сущность тех или иных идеологических и мировоззренческих установок, экономической политики, переживаемого политического режима и т. п. Без этого знания общество не осознает возможных перспектив своего развития и тем самым лишается целей и целесообразности всей системы деятельности.

В годы расцвета «либерализма» множество учебников, прежде всего по гуманитарным дисциплинам, издавали под эгидой и на деньги (гранты) небезызвестного Сороса, подрывая деятельность которого в России, на Украине и в других странах сегодня хорошо известна и изболита. И именно по этим учебникам учились те молодые преподаватели гуманитарных дисциплин, которые сегодня работают в вузах, в том числе и в военных.

Вспомним, под какими лозунгами разрушали СССР, а потом и Россию: приоритет «общечеловеческих» интересов над национальными, идеологический плюрализм и «демократиза-



ция» всех общественных отношений. Идея патриотизма попиралась как недемократическая под либеральным лозунгом «Патриотизм – последнее прибежище негодяя». Всё это, безусловно, должен знать преподаватель гуманитарных дисциплин, прежде всего философии, политологии и социологии.

Отрадно, что в нынешней России национальный патриотизм начинает выступать генерализирующей идеологией. Но сами термины, входящие в название данной идеологии нуждаются в философско-социологической и политологической интерпретации. Так, понятия «национальный», «национализм» и тому подобные могут быть производны от двух понятий «нация» и «национальность», которые отражают не только разные, но и во многом противоположные сущности.

Гуманитарные науки должны не только разъяснить, в чем сущность национального патриотизма и чем он отличается от национализма и шовинизма, но и раскрыть сущность истинного патриотизма через рассмотрение примеров подвигов во имя Родины из истории России, в том числе новейшей истории.

Сказанное подтверждает то, что в кризисные периоды развития общества возрастает мировоззренческая и методологическая роль гуманитарных наук и их системообразующего центра – философии. Гуманитарные науки призваны объяснить сущность происходящих в обществе процессов, раскрыть их закономерности и на этой основе определить стратегические направления развития общества. Это позволяет принимать научно обоснованные решения в управлении обществом, экономическими и политическими процессами. Идеология и практика любой современной политической партии не может не основываться на определенных философских, политэкономических, социологических, культурологических и даже социально-психологических концепциях.

Формирование патриотизма у будущих офицеров является, как уже указывалось, главной из задач образования и воспитания. При этом преподаватель сам должен быть подлинным патриотом, для того, чтобы донести идею и значение патриотизма до слушателей. Безусловно, лучше других с этой задачей справится преподаватель, обладающий кроме специальных знаний большим жизненным опытом, проходящий или прошедший воинскую службу.

Конечно же, одними лекциями и беседами трудно привить патриотизм, главной составляющей которого является любовь к Родине. Однако сознательный патриотизм проходит и рациональную стадию – стадию понимания сущности и необходимости патриотизма для воина и каждого гражданина.

Без убежденности в излагаемом материале преподаватель не может быть убедительным для своих слушателей. Убежденность же основывается на глубоком знании и понимании рассматриваемой проблемы, а не только (и не столько) на эмоциональной уверенности в том, что ты говоришь истину.

Еще одно требование к будущему офицеру, закрепленное в перечне компетенций, приобретаемых в процессе изучения дисциплин гуманитарного цикла – способность «понимать движущие силы и закономерности исторического процесса, роль личности в истории, политической организации общества».

Такое понимание предполагает установление и определение существенного основания для периодизации истории общества, причин развития общества. Анализ различных трудов по истории показывает, что лишь диалектико-материалистическая трактовка процесса исторического развития позволяет выявить такое основание и определить истинную причину эволюции и революции в общественном развитии. В этом контексте основанием периодизации истории является способ производства материальных благ, представляющий противоречивое единство производительных сил и производственных отношений. Это основание позволяет преодолеть как субъективно-идеалистические трактовки истории, во многом связанные с абсолютизацией роли в ней отдельных выдающихся личностей, так и объективно-идеалистические ее трактовки, получившие в последнее время большое распространение

именно в силу успехов наступлений нашего противника в информационно-идеологической войне.

Стремление найти основные детерминанты исторического процесса либо в деяниях «сверхчеловека», либо в промысле Бога или «информационной матрицы», «ментального мира» и т. п. де-юре упраздняет из действительного процесса делания истории огромные массы основных производителей материальных и духовных благ, определяет их пассивность и упование на «судьбу». Идеалистические трактовки истории элиминируют и саму историческую науку, лишая историю закономерности. Вместе с этим упраздняется и всякая закономерность человеческого бытия, распадается «связь времен». Объективно и субъективно-идеалистический волюнтаризм, вполне логично вытекающий из подобных трактовок человеческой истории, делает невозможным, да и ненужным делом всякое научное познание. На этой базе процветают всевозможные фальсификации истории, упражняющиеся в кардинальном пересмотре и грубом искажении исторических фактов. Авторы учебников, получившие социальный заказ – гранты фонда Дж. Сороса, немало потрудились на этой ниве – была пересмотрена (и отнюдь не в пользу патриотических настроений в нашем обществе) история Великой Отечественной войны 1941–1945 годов, история Перовой мировой войны, история Российского государства и даже многие страницы мировой истории. До сих пор предпринимаются попытки очернить память героев Гражданской и Великой Отечественной войны, пересмотреть сам подход к истории подвигов во имя страны и народа. К примеру, совсем недавно экс-психиатр и публицист Андрей Бильжо в статье в издании «The Insider» (новостной сайт, запущенный в сентябре 2014 года в Москве) заявил, что подвиг Зои Космодемьянской – это проявление «шизофрении».

Льют воду на мельницу информационно-идеологической войны против России и некоторые наши литераторы. Например, Владимир Резун, известный под псевдонимом Виктор Суворов, автор нашумевших книг «Ледокол» и «День «М»», пытается в них полностью перевернуть причинно-следственные детерминанты, приведшие ко Второй мировой войне. В названных работах Резун стремится доказать, что Советский Союз – агрессор, он развязал Вторую мировую войну, стремился захватить Германию и всю Европу, а потом и весь мир. И эти книги выпущены в России миллионными тиражами!

Грамотный в философском отношении читатель легко заметит, что «аргументация» у Резуна преднамеренно построена на двух логических ошибках: *argumentum ad populum* – «аргумент к публике» и *argumentum ad hominem* – «аргумент к человеку». Автор старается убедить в истинности своих исторических «открытий», воздействуя на чувства, а не на разум людей, сводя исторический процесс к действию осуществляющих свою волю политических лидеров (в данном случае Сталина и Гитлера). К сожалению, большинство читателей, слушателей, зрителей не обладают знанием ни подлинной истории, ни научной философии, ни ее раздела – логики и потому очень падки на такие приемы. Чувства и здесь побеждают рассудок. Одурманенный подобной дезинформацией народ склонен низвергать с пьедесталов старых идолов, чтобы на их место водрузить новых. Информационные диверсии имеют целью «оранжевые революции». Люди старшего поколения уже не раз наблюдали подобные перевороты, предваряющиеся пересмотром исторических фактов и сопровождающиеся низвержением кумиров – в России, Румынии, Югославии, Ираке, Ливии, Украине и других странах.

Как метко заметил известный сатирик Михаил Задорнов: «Россия – страна с непредсказуемым прошлым». Ясно, что при этом теряется фундамент и для научно обоснованных планов будущего развития. Откуда же тогда возьмутся выдвигаемые общекультурными компетенциями способности «понимать социальную значимость своей будущей профессии, цели и смысл государственной и военной службы, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности в области обеспечения информационной безопасности, защиты интересов личности, общества и государства, готовность... к активной состязательной деятельности в условиях информационного противоборства?»

Безусловно, сказанное не исчерпывает тех требований, которые сегодня предъявляет ситуация экономической нестабильности и информационно-идеологической войны к преподавателю гуманитарных дисциплин военного вуза. Здесь были приведены и рассмотрены лишь наиболее фундаментальные мировоззренческие и идеологические проблемы, раскрытие и решение которых позволит преподавателю гуманитарных дисциплин выстроить процесс преподавания как «линию обороны» против всяческих домыслов и фальсификаций природных и социальных процессов, жизни общества, используемых в современной информационно-идеологической войне против России.

#### **Список используемых источников**

1. <http://www.pravda.ru/politics/authority/kremlin/25-04-2005/50878-poslanie-0> (дата обращения: 12.10.2016).
2. [http://www.sakva.ru/Nick/NSC\\_20\\_1R.html](http://www.sakva.ru/Nick/NSC_20_1R.html) (дата обращения: 12.10.2016).
3. *Огородников В.П.* Проблема критерия истины и паранаука // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 654. – С. 219
4. Конституция Российской Федерации. – М., 1999.
5. Об образовании в РФ: Федеральный закон. – М., Эксмо, 2016.

Н.А. Репях,  
кандидат философских наук;  
А.Н. Хрустова

## ПРОБЛЕМА ВОЙНЫ И МИРА В ФИЛОСОФИИ РУССКИХ РЕВОЛЮЦИОННЫХ ДЕМОКРАТОВ

Рассматриваются вопросы войны и мира в философии русских мыслителей XIX века. Акцентируется внимание на различных аспектах войны как социального явления, причинах войн, связях войны и политики, воздействии войны на общественное развитие.

Ключевые слова: война, мир, связь войны и политики, захватнические и освободительные войны.

Интерес к истории отечественной философской мысли есть обращение к вершинам национального духа, залог сохранения нравственного здоровья народа. Восстанавливая нашу историческую память, мы восстанавливаем и собственную духовность. Актуальны слова известного отечественного философа XIX века Г. Флоровского: «Философия становится темой общественного внимания. И в связи с этим новым подъемом оживает и интерес к родному философскому прошлому, к философскому родству...» [7].

Философская мысль в России развивалась не в стороне от мировой науки и философии, а в тесной связи с ней. Несомненно, создавая собственную оригинальную философскую традицию, русская философская мысль не смогла избежать ученичества. Некоторые идеи и темы действительно были заимствованы. Однако, складываясь под влиянием социально-культурных процессов, происходящих в России, отечественная философская мысль в целом ученической не осталась. «Основные проблемы мировой философии, – писал известный русский философ Б. Вышеславцев, – являются, конечно, и проблемами русской философии... Но существует русский подход к мировым философским проблемам, русский способ их переживания и обсуждения» [2]. Она смогла создать драгоценное сочетание свободного и оригинального творчества и традиций мировой философской мысли. Наиболее ярко это проявилось в XIX веке, когда русская культура в полной мере обрела свой национальный язык, родилась русская классическая литература, а вместе с ней и национальное русское самосознание, определяющее свою основную тему как тему самобытности, особой миссии и судьбы русского начала в мировой истории. В этом контексте в русской философии XIX века важное место занимали проблемы насилия и в особенности войны и мира.

Страстная проповедь мира, приверженность добру и свободе, столь характерные для русской философии, и сегодня побуждают души. Отстаивая идеалы социальной гармонии, Ф. Достоевский видел пути к гармонизации и совершенному обществу не через насилие, не через войны, а через смирение и страдание, помогающие человеку изжить эгоизм, вражду, ненависть, нравственный кризис.

«Противным человеческому разуму и всей человеческой природе событием» считал войну Л. Толстой. По его убеждению, зло нельзя уничтожить злом, насилие недопустимо и безнравственно. Непротивление злу насилием – вот единственное средство борьбы с социальным злом и насилием в любой его форме [5].

Развернутой критике взгляды Л. Толстого на проблему насилия подвергает виднейший представитель русской философии XIX века В. Соловьев. Обращаясь к проблеме «мирового зла», он утверждает, что насилию вне конкретно-исторического анализа его причин нельзя давать нравственную оценку. При определенных обстоятельствах оно просто необходимо с нравственной точки зрения. Даже нечаянное убийство человека преступного, посягающего

на жизнь других, считает В. Соловьев, «есть меньший грех, нежели по собственному произволу допустить намеренное убийство невинного» [6].

Не менее глубокими в отечественной философской мысли выступают исследования различных аспектов войны как социального явления. Эти темы занимали значительное место в работах А. Герцена, В. Белинского, Н. Чернышевского, Н. Добролюбова, которых принято называть русскими революционными демократами. Объединяющими для них были не только единые философские принципы, но и неприятие любых форм угнетения человека, реализм и радикализм во взглядах на общество. Также общими были теоретическое и практическое отстаивание идей, интенсивность общественной жизни и во многом схожие трагические судьбы. Восприняв от декабристов прогрессивную традицию в рассмотрении вопросов войны и мира, русские мыслители развили ее в новых исторических условиях, обогатили новым содержанием. Многие идеи актуальны в сложной противоречивой международной обстановке начала XXI века и позволяют глубже понять современные механизмы зарождения войн и военных конфликтов, причины их порождающие, возможные пути и способы предотвращения.

Обращение русских революционных демократов к военно-философской проблематике было обусловлено сложными общественно-историческими условиями эпохи, в которую они жили. Процессы, происходящие в экономической и социально-политической жизни России в середине XIX века, привели к возникновению кризисной ситуации 1859–1861 годов, взрыванию которой способствовало прежде всего поражение в Крымской войне. Кроме того, этот период мировой истории был насыщен многочисленными буржуазно-демократическими революциями, национально-освободительными и захватническими конфликтами. Поэтому вполне очевидно, что, обращаясь к анализу и решению общественно-политических проблем, русские революционные демократы в этих условиях не могли не остановиться на рассмотрении ряда философских вопросов войны и мира. Основное внимание было уделено выяснению причин войн, определению их социального характера, а также связи войны и политики, воздействию на общественное развитие.

Исследуя проблемы войны и мира, революционные демократы внесли значительный вклад в создание научно-теоретических основ познания природы, социально-политического характера, причин, порождающих войну, их классификации и роли в историческом процессе.

Прежде всего русскими теоретиками неоднократно высказывалась мысль о необходимости конкретно-исторического подхода к анализу войны как социального явления. Так, Н. Чернышевский на требование некоторых философов дать решительный ответ на вопрос: «Пагубна или благотворна война?», отвечал, что нельзя на этот вопрос отвечать абстрактно. Для этого «надобно знать, о какой войне идет дело, всё зависит от обстоятельств, времени и места... Война 1812 г. была спасительна для русского народа; Марафонская битва была благодетельнейшим событием в истории человечества» [8]. В своей статье «Основания политической экономии» [Д.С. Милля] (Кн. 1) Н. Чернышевский требует рассуждать не гипотетически, а подходить к каждому событию конкретно-исторически [8].

При рассмотрении той или иной войны Герцен, Белинский, Чернышевский и Добролюбов не употребляли понятие «сущность войны». Вместе с тем они стремились показать прежде всего ее политические цели. Выяснение взаимосвязи войны с предвоенной политикой правомерно рассматривать сущностным подходом.

По мнению Герцена, Крымская война наряду с ее внешнеполитическими целями явилась прежде всего продолжением предшествовавшей войны внутренней политики российского самодержавия. «Для царя завоевательная война, – писал он, – единственное средство приобрести популярность и сохранить свою власть. Не находящие применение силы выступают из берегов; царю это даст возможность уклониться от решения внутренних вопросов и в это время утолить жажду битв и расширение границ» [3]. В устремлениях Наполеона III в австро-итальянской войне 1859 года он также сумел раскрыть реакционные, бонапартистские политические цели. «Войну эту Наполеон вел, – писал Герцен, – чтобы угомонить французов

гимнастикой освобождения и потрясениями побед... Как же было отстранить войну, которая была необходима для внутренних интересов? Не австрийцев, так кого-нибудь другого надобно было бить французам» [3].

На наш взгляд, еще дальше пошел в понимании сущности войны Чернышевский. Хотя у него и не встречается формула «Война есть продолжение политики иными средствами», очевидным выступает ясное понимание диалектической связи политики и войны. Подвергая резкой критике крепостничество, в статье «Письма без адреса. Письмо второе», Чернышевский указывает на то, что «... военные неудачи обнаружили для всех слоев общества несостоятельность того порядка вещей, в котором оно жило до войны» [8]. А в работе «Рассказ о Крымской войне (по Кинглеку)», написанной в 1863 году в Петропавловской крепости, Чернышевский подчеркивает: «Возникновение англо-французской войны с Россией не может быть понятно, если не будем подробно знать, в чем состояла сущность «иностранный» политики нового французского правительства» [8].

Отмечая сущностную связь войны и политики, русские революционные демократы делают вывод о том, что такая политика есть следствие деятельности существующей власти. Обращаясь к событиям наполеоновских войн и войн 50–60-х годов XIX века, Герцен высказывал идею о том, что войны избежать нельзя, так как при нынешнем «государственном устройстве эти идеи (связи войны и политики – авторы) могут понимать лишь сто человек, а не сто миллионов» [3]. Наряду с этим он высмеивал и бытовавшие идеи о том, что якобы войны можно устранить из общественной жизни внедрением в общественное сознание «идей международного права» и «начал международной совести». По Герцену характер войн империи Наполеона I обусловлен сущностью бонапартистского режима. Он писал: «Бонапартизм идет рука в руку со смертью. Его слава кровавая, она вся из трупов. В нем нет силы жиздательной, нет производительной деятельности; он – совершенно бесплоден, всё созданное им – обман. Действительность его – это Испания, утученная трупами французов, это египетские пески, усыпанные французскими костями, это снега России, обгаренные французской кровью» [3].

На зависимость самого характера войны и мира от государственного устройства указывал и Белинский. «... Горе государству, – писал он, – которое в руках капиталистов, это люди без патриотизма, без всякой возвышенности в чувствах. Для них война или мир значат только возвышение или упадок фондов – далее этого они ничего не видят» [1].

Русские революционные демократы подошли к правильному пониманию факторов, действие которых определяет ход и исход войны. «... Во всяком историческом факте, – пишет Чернышевский, – как в той войне, которая возбудила этот вопрос, статистические явления и цифры определились не одним элементом войны, а также множеством всевозможных других условий и обстоятельств» [8]. Слабость же русской армии Чернышевский объяснял прежде всего состоянием экономики страны. «Да откуда же может взяться сильный военный флот, когда нет сильного коммерческого флота? – вопрошает он. – Ведь, если нет сильного коммерческого флота у какой-нибудь нации, это значит, что не развито у ней дело кораблестроения, нет у ней множества опытных матросов, а если нация не имеет многочисленных матросов и не умеет строить кораблей, то каким же манером у нее будет военный флот» [8].

Чрезвычайно актуальной выступает оценка Н. Добролюбовым внешней политики ведущих западноевропейских стран середины XIX века. Она плодотворна и сегодня при анализе ближневосточной ситуации начала XXI века, той политики, которую проводят сегодня в этом регионе США и их западноевропейские союзники. В статье «Взгляд на историю и современное состояние Ост-Индии» Добролюбов критически высказывается по поводу бытовавшего мнения, что англичане несут «цивилизацию» индийскому народу.

Одной из главных причин глубокого современного геополитического кризиса в Ираке, Ливии, Сирии и других странах ближневосточного региона стал «экспорт» западноевропейской демократии и насильственное навязывание иного образа жизни и ценностей, а в конечном итоге попытка установления нового миропорядка. Как не вспомнить в этой связи и

оценку Герценом западной цивилизации, его разочарование духовными ценностями, лицемерием, узким эгоизмом, в стихии которого произошла «замена лиц масками».

Добролюбов отмечает, что вражду индийского народа к английским колонизаторам вызвала не столько цивилизация сама по себе, сколько «английский способ приложения цивилизации к Индии». И является он не чем иным, как выкачиванием податей и доходов, так как конечной целью Англии «была государственная и частная корысть, а не дело цивилизации» [4]. В заключение Добролюбов делает вывод, что восстание в Индии нельзя рассматривать случайной вспышкой недовольства. На самом деле это дело исторической необходимости, следствие экономических причин [4].

Выяснение сущности войны, причин, ее порождающих, для русских революционных демократов не было самоцелью. Оно было необходимо для определенных социальных последствий войны и выработки отношения к ней. Так, в статье «Русская беседа и славянофильство» Чернышевский пишет: «Всякая война, имеющая целью завоевание или перевес над другими нациями, не только безнравственна и бесчеловечна, но также положительно невыгодна и вредна для народа, какими бы громкими успехами не сопровождалась, к каким выгодным, по-видимому, результатам не приводила».

Решая вопрос классификации войн, Чернышевский в качестве определяющего критерия предлагает соотносить характер войны с общественным прогрессом и прежде всего с интересами народа. Отсюда он выделяет два рода войн: справедливые (освободительные, «благотворительные») и несправедливые (пагубные, опустошительные).

К первым Чернышевский относит войны революционные, гражданские, «в защиту или возвращение национальной независимости», а также те, которые ведутся народом «для отражения врагов от пределов Отечества». В таких войнах, считает Чернышевский, зачастую решается историческая судьба любого народа и поэтому они прогрессивны.

И, наоборот, войны несправедливые, реакционные (захватнические, колониальные) разрушают экономику воюющих стран, несут страдания и боль их народам. «Война и ее последствия, – писал Чернышевский, – поглощает в мирное время почти две трети государственных доходов. И в итоге, – заключает он, – война означает остановку нашего внутреннего развития, ... расстройство всех экономических отношений» [8].

Нельзя не согласиться, что в целом революционные демократы были противниками войн, считая их несчастьем для народа, но они не были и пацифистами. Осуждая войны захватнические, Герцен, Белинский, Чернышевский и Добролюбов поддерживали освободительные войны. Событием, вызвавшим большой патриотический подъем русского народа, чувства народного сознания и любви к родине они называли Отечественную войну 1812 года. Белинский в письме Боткину подчеркивал, что посвятил свою жизнь борьбе за улучшение жизни бедных и обездоленных. «Но смешно и думать, – заявляет он, – что это может сделаться само собою, временем, без насильственных переворотов, без крови... Да и что стоит кровь тысяч в сравнении с унижением и страданием миллионов» [1].

Имея в виду справедливые войны, Чернышевский писал, что «без войны никакой народ ни от какого чужого ига не освобождается» [8]. Он безоговорочно поддерживал «войны в защиту или возвращение национальной независимости» [8].

Глубина диалектического анализа с особой силой проявлялась и при определении последствий той или иной войны. Для революционных демократов вопрос о влиянии войны на общественно-политические процессы был одним из центральных вопросов. Войны освободительные, по мнению Добролюбова, оказывали позитивное влияние на общественно-политические процессы, что проявлялось прежде всего в пробуждении самосознания народа. Так, говоря о справедливом, народном характере Отечественной войны 1812 года, он замечал, что только такая война была способна пробудить самосознание русского народа в истинном значении этого слова: «Отечественная война показала нам, что мы такое есть на свете...» [4].

Особое значение патриотическому воспитанию народа на героических традициях его истории придавал Белинский. Вспоминая свое детство, Белинский писал: «Мы, юноши нынешнего века, мы, бывши младенцами, слышали от матерей наших... об двенадцатом годе, о Бородинской битве, о сожжении Москвы, о взятии Парижа» [1]. Зная историю своей Родины, он подчеркивал, что, несмотря на тяжелейшие условия, русский народ во все времена проявлял себя и «в великих полководцах, и в великих государственных людях, и в великих ученых, и в великий поэтах» [1].

Указывая на справедливый характер борьбы индийского народа против английских завоевателей, Добролюбов высказывал мысль о том, что освободительное восстание, вылившееся в войну, пробудило сознание веками угнетавшего сипая. Он считал, что разбудила от векового сна сознание народов Балкан и освободительная война, которую вела Россия. Неоднократно отмечал положительное влияние на сознание и деятельность народа не только войн освободительных, но и гражданских. Подтверждением этому может служить описываемое Добролюбовым революционизирующее влияние войны Севера против Юга в Гражданской войне в США в XIX веке. Существенным было ее влияние и на внутривнутриполитическую жизнь Нового Света, и на международную ситуацию в целом.

Вслед за Добролюбовым Чернышевский высказывал идею о прогрессивном влиянии на общественную жизнь, наряду с освободительными и гражданскими войнами, и войн, связанных с облегчением экономического развития стран, подобно походам Петра I и войнам за выход к морям. Он критически относился к бытовавшему тогда мнению, утверждавшему главным результатом деятельности Петра I перенесение к нам западной цивилизации. «Результатом деятельности Петра Великого, – пишет Чернышевский, – было то, что мы, получив хорошее регулярное войско, стали сильной военной державой, а не то, чтобы мы изменились в каком-нибудь другом отношении» [8]. Анализируя с этих позиций Крымскую войну, Чернышевский писал: «Конечно, не из особенной любви к России послали Людовик – Наполеон и Палмерстон свои войска к Севастополю, – напротив, они хотели нанести ей как можно больше вреда, и действительно много нанесли вреда, а теперь все мы видим, что война принесла довольно значительную пользу России. Правда такой путь прогресса и тяжел и медлителен, но что же делать, когда он все-таки самый надежный путь» [8]. Прочтение этих строк вызывает ассоциации с введенными два года назад США и их союзниками экономическими санкциями в отношении нашей страны и их последствиями для российской экономики.

Война представляет собой явление, считали русские революционные демократы, которое жестоко вторгается в общественную жизнь страны, ведет к задержке экономического развития и огромным человеческим жертвам. Возражая Б. Чичерину, считавшему полезной войну для политического единства нации, Чернышевский пишет, что Генриха II и Людовика нельзя называть благодетелями нации. Они, утверждает Чернышевский, «имели в виду вовсе не пользу нации, а только удовлетворение собственному эгоизму, и одинаково вели всевозможные войны, не разбирая того, полезны ли эти войны для национального единства или нет» [8]. Опасно и то, что каждая захватническая война, как подчеркивал Герцен, сопровождается отрицательными последствиями для общественного сознания. Стремление правительства с помощью войны отвлечь народные массы от внутренних проблем зачастую удается. Ожидание кровавых новостей зарождает национализм, развивает злые чувства национальной ненависти «и жадного патриотизма». «Война пьянит, пар от крови павших жертв вздымается вверх и расстилает перед глазами багровую пену, мешающую видеть», [3] – писал Герцен, оценивая Крымскую войну. Более того, победоносный исход захватнической войны, считал он, может способствовать приходу к власти реакционных монархических режимов.

Оценивая обстановку во Франции после июньских событий 1848 года, когда для буржуазной контрреволюции открылся путь к реставрации монархии, а также события разгоравшейся национально-освободительной борьбы в Италии против Австрийского господства, Герцен высказал в 1848 году предложение, что на этой почве может возникнуть австро-итало-



французская война. Главная опасность в ней будет та, что, «если французские войска победят австрийцев», республика погибнет и «мы спокойно въедем в империю, под каким бы именем ни было» [3].

Неоднократно Герцен указывал и на наличие пределов насилия, когда оно может только лишь разрушать. К неутешительным выводам он приходит после поражения революции 1848 года. В «Западных арабесках» Герцен пишет, что насилие способно только расчищать место для будущего, но оно не может его создать. Мы «нашим страданием, – пишет он, – доходим до смирения и покорности перед истиной и избавляем от этих скорбей следующие поколения. Нами человечество протрезвляется, мы его похмелье... Выхода нет» [3].

А вот возможности устранения самого насилия Герцен связывал с «иным общественным устройством». Верил в будущее без насилия и Белинский, мечтавший о времени, «...когда никого не будут жечь, никому не будут рубить головы...» [1].

Глубокая любовь революционных демократов к своему народу сочетались с уважением к другим народам. «Много можно, – заявлял Белинский, – ожидать от народа, который после Нарвского сражения дал Полтавскую и Бородинскую битвы, потряс Турецкую империю и свалил в бездну Наполеона – этого кумира, властвовавшего над народами, и своей кровью обеспечил честь, свободу и спокойствие всей Европы».

Революционным демократам были чужды национализм и шовинизм. Они отстаивали мир, равенство и дружбу между народами. «Нельзя мечтать о свободе своей родины, затягивая веревку на шее соседа», – говорил Герцен. Выступая против реакционных идей превосходства одной нации над другой, Добролюбов писал: «Патриотизм живой, деятельный именно и отличается тем, что он исключает всякую международную вражду, и человек одушевленный таким патриотизмом, готов трудиться для всего человечества, если только может быть ему полезен... Настоящий патриотизм, как частное проявление любви к человечеству, не уживается с неприязнью к отдельным народностям» [4].

С резкой критикой революционные демократы выступали против мальтузианства и ризма, показывая реакционный характер их концепций, апологетизирующих идею вечности войн. Чернышевский, разоблачая антинародный характер мальтузианской теории, доказывал, что причиной нищеты масс, причиной войн является не фантастический «закон» чрезмерного размножения людей, а наличие «дурных», несправедливых учреждений и что Мальтус выдумал эту теорию для оправдания существующей в Англии политической системы.

Следует отметить, что взгляды русских революционных демократов на проблему войны и мира редко изложены в систематизированном виде. Они разбросаны по статьям, рецензиям, написанным по разным поводам. Порой встречаются и противоречивые суждения. Этому есть как субъективные, так и объективные причины.

Герцен, Белинский, Чернышевский и Добролюбов действовали в переломный период отечественной истории, в гуще событий, которые в значительной степени не только породили острый узел социальных противоречий, но и предопределили вектор дальнейшего исторического развития. Лишь незрелость экономической и политической жизни России, неразвитость философской мысли, а также определенная ограниченность самого мировоззрения революционных демократов не позволили им до конца понять и раскрыть действительные основы сущности, целей и причин войны, соотношение войны и мира. Вместе с тем историческая заслуга Герцена, Белинского, Чернышевского и Добролюбова, несомненно, огромна и состоит в том, что они заложили основы методологии анализа войны и мира. Своими самобытными оригинальными идеями русские революционные демократы внесли значительный вклад в развитие отечественной и мировой военно-философской проблематики, по теоретическому богатству, широте и глубине постановки вопросов войны и мира они во многом превзошли своих современников.

**Список используемых источников**

1. *Белинский В.Г.* Полн. собр. соч.: в 13 т. – М.: Изд-во АН СССР, 1953–1959.
2. *Вышеславцев Б.П.* Этика преображенного Эроса / Русские философы (конец XIX–середина XX века): антология.– М.: Изд-во «Кн. палата», 1993. – Вып. I. – 368 с.
3. *Герцен А.И.* Сочинения: в 2 т. – М.: Мысль, 1985–1986.
4. *Добролюбов Н.А.* Собр. соч.: в 9 т. – М.–Л.: Изд-во Худож. лит., 1961–1964.
5. *Зеньковский В.В.* История русской философии. Соч. в 2 т.– Л.: ЭГО, 1991. – Т. 1, ч. 2. – 280 с; Т. 2, ч. 1 – 255 с.
6. *Лосский Н.О.* История русской философии. – М.: Высш. шк., 1991. – 559 с. [Б-ка философа].
7. *Флоровский Г.В.* Пути русского богословия / отв. О. Платонов – М.: Ин-т русской цивилизации, 2009. – 848 с.
8. *Чернышевский Н.Г.* Сочинения в 2 т. – М.: Мысль, 1986–1987.

А.В. Тарасов,  
*кандидат военных наук;*  
Е.В. Шалонов,  
*кандидат военных наук*

## **ВОИНСКИЙ КОЛЛЕКТИВ КАК ВОСПИТАТЕЛЬ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ**

Раскрывается роль коллектива как объекта и субъекта воспитания. Указаны основные направления его формирования.

Ключевые слова: воинский коллектив, военно-педагогический процесс, этапы развития коллектива, руководство, актив.

Воспитание военнослужащих, как отмечается в руководящих документах Министерства обороны РФ, есть приоритетная обязанность всех командиров и начальников, других должностных лиц, общественных организаций.

В военно-учебном заведении воспитание как научно-педагогический процесс осуществляется при тесном взаимодействии тех, кто воспитывает (субъектов воспитания), и тех, кого воспитывают (объектов воспитания).

С учетом практики и опыта последних лет воспитание можно определить как целенаправленную деятельность общества, государства, их учреждений и организаций, должностных лиц по формированию и развитию личности военнослужащего, побуждению ее к самосовершенствованию в соответствии с требованиями современной войны.

Особая роль в военно-педагогическом процессе принадлежит воинскому коллективу, который является одновременно и объектом, и субъектом воспитания. В связи с тем, что воспитательная сила коллектива во многом зависит от уровня развития его духовной, морально-психологической атмосферы, различают ряд черт (признаков) коллектива как воспитателя. К их числу прежде всего относят целенаправленность и целеустремленность, слаженность, сплоченность, требовательность и самостоятельность.

В целенаправленности находит свое отражение система целей и задач, ближних и дальних рубежей подразделения. В ней отражаются не только характер повседневных действий, но и общественные интересы, идеология, социально-политическое лицо коллектива. Целенаправленность любого коллектива объективно является воспитательной силой. И эта сила тем больше, чем значительнее вклад коллектива в общее дело, чем выше значимость задач, решаемых им.

Воинский коллектив, в котором осуществляется жизненно необходимая и важная общественная деятельность людей, обеспечивающая безопасность Родины и созидательный труд народа, формирует у военнослужащих стойкий характер, привычки правильного, дисциплинированного поведения.

Сила влияния коллектива на личность многократно возрастает, когда цели и задачи не только поставлены, но и доведены до сознания каждого его члена, когда эти цели понятны и приняты им. Именно внутренняя убежденность каждого курсанта или офицера (если мы говорим об офицерском коллективе кафедры или факультета), а следовательно, и всего коллектива в необходимости выполнения стоящих перед ним задач говорит о целеустремленности воинского коллектива как о черте его духовной жизни.

Целеустремленность представляет собой сплав, теснейшую неразрывную связь социального, идеологического и психологического в коллективе. В ней социальные и идеологиче-

ские моменты сливаются с личностными, трансформируются в психологию личности и выступают большой движущей силой.

Существенно повышает воспитательную роль коллектива его слаженность, сплоченность. Она порождает у военнослужащего чувство единства, неотделимости от коллектива, высокую степень товарищеской спайки. Слаженность, сплоченность рождается в процессе совместной деятельности личного состава, из совокупности коллективных усилий в процессе учебно-воспитательного процесса, решения задач гарнизонной, караульной и внутренней службы, при проведении спортивно-массовых и культурно-досуговых мероприятий.

Одной из важнейших черт коллектива как воспитателя, его существенным признаком является требовательность. Не случайно А.С. Макаренко определял воспитательную ценность коллектива по развитию требований в коллективе. Он установил следующие этапы в развитии коллектива как воспитателя в зависимости от требований:

- 1) требования к людям предъявляют руководители коллектива как представители общества;
- 2) эти требования поддерживаются активом;
- 3) требования актива становятся единодушным мнением всех, и коллектив может применить их к каждому отдельному лицу;
- 4) человек под влиянием требований коллектива начинает предъявлять общественные требования к самому себе.

Названные положения в известной мере применимы и для оценки воинского коллектива как воспитателя.

Общим показателем воспитательной силы коллектива и предпосылкой его успехов является социально-психологическая сплоченность. В ней сливаются все черты и признаки коллектива: требовательность, самостоятельность и целеустремленность. В определяющей степени она зависит от боевой слаженности и сплоченности, а также характера межличностных отношений (степени их соответствия уставным требованиям и нормам нашей морали), от единства коллективного мнения, основанного на высокой идейности, от богатства и разнообразия, внутриколлективных, служебных и бытовых традиций. Социально-психологическая сплоченность предполагает также определенную степень общественной активности личного состава, вовлечения основной массы воинов в общественную, культурную и спортивную работу.

Приведенный перечень черт коллектива как воспитателя не является исчерпывающим. Однако именно данные черты придают коллективу авторитет и обеспечивают положительное отношение к нему личности – члена коллектива. А это, в свою очередь, является благоприятной психологической почвой для повышения эффективности воспитательных воздействий, способствует органичному слиянию воспитания и самовоспитания личности.

Черты коллектива хотя и стабильны, но менее устойчивы, чем черты личности. Всё это обязывает руководителей коллективов постоянно держать их в поле зрения, оберегать от разрушения, соблюдать преемственность в этой работе.

Объективные условия, в которых находятся воинские коллективы, предоставляют широкие возможности для формирования положительных черт коллектива.

Однако они формируются не сами по себе, не автоматически, а с помощью активной деятельности руководителей. Опыт показывает, что при стихийном развитии событий в психологии коллектива иногда проявляются и отрицательные признаки. Вот почему начальникам (факультетов, кафедр, отделов и служб), командирам курсантских подразделений важно постоянно изучать коллектив и направлять его развитие. При этом следует иметь в виду, что общие черты коллектива специфически проявляются в каждом подразделении.

Говоря о динамике развития воинского коллектива, необходимо отметить, что по своей структуре, организации, психологии и развитию общих воспитательных признаков он проходит ряд ступеней (этапов). Условно в формировании коллектива как воспитателя можно выделить следующие этапы: становление, развитие, зрелость. Каждый этап характеризуется

определенным состоянием (уровнем развития) воспитательных признаков, что во многом определяет и содержание работы по формированию коллектива как воспитателя.

Практика показывает, что на каждом этапе развития коллектива возникают и свои проблемы, требующие профилактической воспитательной работы.

Успех в формировании воинского коллектива возможен только при соответствии деятельности командира (руководителя) закономерностям, принципам и методам военной педагогики и психологии. При этом руководитель курсантского или офицерского коллектива в работе по его формированию должен сосредоточить свои усилия на следующих основных направлениях:

- совершенствовании организационной структуры коллектива в соответствии с решаемыми задачами;
- формировании взаимоотношений в нем на основе требований уставов и норм, традиций Вооруженных сил и академии;
- постоянном управлении внутриколлективными, социально-психологическими явлениями и процессами;
- активном влиянии на отношения: личность военнослужащего – воинский коллектив.

Именно такие направления определяют соответствующие условия формирования коллектива как воспитателя.

Следует подчеркнуть, что для развития коллектива как воспитателя первостепенное значение имеет авторитет и влияние актива. Формировать воспитывающий воинский коллектив – это значит прежде всего неустанно заниматься воспитанием актива. Важно помнить, что актив эффективно воздействует на остальной личный состав в том случае, если он непрерывно организационно крепнет, совершенствуется, задает тон в подразделении, если каждый активист является примером служения Родине, выполнения своего воинского долга, общественных поручений, образцом в дисциплине, учебе, спорте и т. д.

Немаловажную роль в утверждении коллектива как воспитателя играет управление его психологической атмосферой. Динамичность социально-психологических явлений в первичном коллективе, их подверженность личностному и групповому влиянию обуславливает необходимость постоянного управления ими со стороны командиров (начальников).

Важным условием формирования воинского коллектива как воспитателя является установление и поддержание в нем межличностных отношений соответствующих общевоинским уставам ВС РФ. Развитие взаимоотношений в воинском коллективе – динамичный и сложный процесс, так как протекает в ходе решения разнообразных задач, связанных с учебно-воспитательным процессом, научной, методической и другими видами деятельности подразделения.

В формировании коллектива-воспитателя, установлении и поддержании в коллективе уставных взаимоотношений исключительно большое значение имеет всестороннее укрепление авторитета командиров и начальников всех степеней, обеспечение их личной примерности в службе, дисциплине, в быту и т. д.

Неисчерпаемые воспитательные возможности воинского коллектива академии заложены в высокой общественной значимости целей и задач его практической деятельности. Объективные воспитательные возможности заложены в самой его природе, структуре, характерных особенностях. Каждое подразделение, как частица академии, Вооруженных сил в целом, неразрывно связано с другими воинскими и иными коллективами. Воинскому коллективу свойственно органическое социальное и духовное единство, морально-политическая и психологическая слитность с российским общественным и государственным строем, основанная на общности коренных интересов россиян и их защитников.

### Список используемых источников

1. Военная педагогика: учебник для вузов / под ред. О.Ю. Ефремова. – СПб.: Питер, 2015. – 640 с.
2. Об организации работы с личным составом в Вооруженных Силах Российской Федерации: Приказ Министра обороны РФ 2016 года №655 от 12.09.2016 г. Москва. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456046040> (дата обращения: 15.12.2016).
3. Макаренко А.С. Педагогические сочинения: в 8 т.– М.: Педагогика, 1984.
4. Организация работы с личным составом в Вооруженных Силах Российской Федерации: учеб. пособие / И.В. Дурнов, А.Е. Теренин, Е.Л. Кутузов и др.; под общ. ред. А.В. Тарасова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 139 с.

The solution of practical problems of structural and functional studies of complex technical systems using the encoding of graphs / E.V. Basotin, Y.A. Gravchenko., B.K. Grankin, E.B. Zhiganov, D.O. Mogan // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 6–8.

Discusses approaches to the numerical coding of graphs for solving problems of structural and functional studies of complex technical systems. Proposed directions for the solution of practical problems of structural and functional studies of complex technical systems using the encoding of graphs. The necessity of solving a wide range of practical problems of structural-functional research complex technical systems with using numerical coding graphs with the use of specialized software and algorithms of minimization of code count and shrinking (identifying) vertices (edges) of the graph.

*Key words: graph, number, code, canonical matrix codes matrix adjacency, extremely large number, structural-functional studies.*

The combined method of multicriteria choice of management decisions on the basis of the knowledge models and experiment planning / A.A. Pavlov, A.N. Pavlov, D.A. Pavlov, A.A. Slin'ko // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 9–17.

In the article for removing the criterion uncertainty in the choice of management decisions, which are evaluated by linguistically-specified indicators, it is proposed to use additional information about the decision maker (DM) preferences. The DM's preferences are represented by the production rules and are processed by using the methods of the experiment planning theory and parametric fuzzy measures. The essence of the combined method is in sharing the ideas of verbal decision analysis (simple and complex reference situation of the survey) and the procedures of bringing qualitative data into quantitative indicators. The construction of the procedures is based on using the mathematical apparatus of theory of fuzzy sets, relations and measures, and also the theory of experiment planning. In order to reduce the number of addresses to a DM in the process of expert survey and to guarantee the consistency of his statements based on the set of production rules that represent the reference situations of the survey, a parametric fuzzy measure has been constructed. It allows to quantify the preferences of a DM as for the criteria for achieving the set goal when choosing the management decisions.

*Key words: criterion uncertainty, linguistic indicator, production rule, reference situation of survey, theory of experiment planning, fuzzy measure.*

Prorok V.Y., Shaymukhametov S.I. Motion simulation of maneuvering aircraft based on fuzzy artificial neural networks // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 18–24.

The article considers the variant of the model the motion of maneuvering aircraft that are built by using ensemble fuzzy artificial neural networks. Work is due to the need for improved modeling of objects capable of maneuvering in the course of the motion. Presents a study of the use of neural network, is able to reflect the characteristics of motion, typical for maneuvering aircraft, the results of modeling the motion of maneuvering aircraft using ensemble fuzzy artificial neural networks.

*Key words: maneuvering aircraft, trajectory of motion, artificial neural networks, ensemble of fuzzy artificial neural networks.*

Adaptive detection algorithm of the signals received from the fast fluctuating targets with Doppler scattering in the presence of interference / A.S. Bachevskiy, D.U. Konovalov, V.V. Labec, A.A. Shatalov, V.A. Shatalova // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 25–34.

We consider the problem of joint detection – recognition of bundles of signals, reflected from fast-fluctuating targets with Doppler scattering in the presence of interference. Formulation and

testing of statistical hypotheses correspond to the two-step task multialternative detection. In the first stage tests a hypothesis about the presence of any of the signals together with interference and noise (without specifying the type of target) against the alternative, the presence of only interference and noise. As optimality criterion we use a criterion of Neyman - Pearson. In the second stage by comparing selected the largest of the logarithms of likelihood ratios. The corresponding signal is taken as an estimate of the true signal.

It is assumed that the signals, interference and noise obey the Gauss distribution law of probabilities. In the case of parametric prior uncertainty, their covariance matrix is unknown and must be estimated, for example, by the method of direct treatment of the sample covariance matrix.

*Key words: rapidly fluctuating target and a target with Doppler scattering.*

Berezhnoy I.V., Sazonov K.V., Stupakov K.V. Model of the accommodation element to block memory in configuration sequences field-programmable gate array // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 35–41.

Analytic model of configuration sequence structure of integrated logic programmable circuits, forming stages in process of computer-aided design system functioning are presented. The method of FPGA block memory values revealing is described, method complexity is estimated.

*Key words: analytical model, field-programmable gate array.*

Zamarin A.I., Tavalinskiy D.A., Tsyganov A.S. Method of detection of hidden periodicities in digital information sequences at reception of group signals in digital transmission systems of the information // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 42–48.

In this article are presented stages of detection of hidden periodicities of digital informational sequences at data processing and a redundancy, and also is presented experimental research at a combination of auxiliary and information symbols in sequences of the data for identification of protocol transformations. On the basis of the received results the conclusion that search is necessary for revealing of the latent periodicity graphs trajectories, based on an exception of the superfluous ways characterised by the minimum statistical reliability is drawn.

*Key words: hidden periodicities, identification of legal transformations.*

Braginets V.F., Zhukov A.N. Technology high-precision SC ballistic support of the military and dual purpose with use of the functional additions of the glonass system created by JSC «RPC «PSI» by request of the Ministry of Defence of Russia and Russian Federal Space Agency // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 49–56.

In article the short description and an assessment of accessibility of requirements for accuracy perspective technology of SC high-precision navigation and ballistic providing with use of domestic global functional additions of the GLONASS system developed in interests of the Ministry of Defence of Russia and Russian Federal Space Agency within actions of the Federal target program «Maintenance, development and GLONASS system use for 2012-2020» is carried out

*Key words: GLONASS, global functional additions of the GLONASS system, ephemeris and clock determination.*

Gotur I.A., Prokhorenko P.A. The model space system of hydrometeorological support // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 57–67.

The model space system of hydrometeorological support is described in the article. It allows providing a unified approach to the design of hydrometeorological spacecraft systems. This model is based on the analysis of requirements for hydrometeorological information received by using spacecraft. The use of model allows coming to the justification of the requirements for space system



of hydrometeorological support from the perspective of improving the quality of received hydrometeorological information.

*Key words: model, quality of hydrometeorological information, requirements for hydrometeorological information, hydrometeorological spacecraft, meteorological Earth satellite, ballistic structure of the spacecraft system.*

Grigorashev I.N., Kislenko K.V., The method of tandem space objects orbit designing // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 68–73.

The article discusses the results of a study of the space objects relative motion orbits. Discusses the methodological approach to the generation of various types and determination of orbital parameters of stable relative motion, based on the use of the small perturbations theory of spacecraft orbital parameters on near-circular orbits. Examples of space objects relative movement orbits are given, and their stability is analyzed.

*Key words: orbit designing, space object, relative motion.*

Kiriliuk E.V., Koryanov V.V., Stepanov M.N., Minimizing sequences of interorbital transfer trajectories between low circular orbit and high-energy orbits of different types // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 74–78.

A methodical approach to numerical solution of optimal control problem for multiturn interorbital transfer trajectories of a space vehicle with a high thrust engine between low circular orbit and out-of-plane high-energy orbit in central Earth's gravitational field based on the maximum principle is suggested. Conducted the numerical calculation and analysis of optimal control problem for interorbital transfer to geostationary orbit and highly elliptical orbit, which are close to “Molniya”-type orbit, for three space tugs with different energy performance.

*Key words: optimal control, interorbital transfer, launching, geostationary orbit, highly elliptical orbit, Pontryagin's maximum principle.*

Ardashov A.A., Arseniev V.N., Zinovev K.G. The Linearization of Dependences of Accuracy Characteristics of the Aircraft Control System from Accuracy Characteristics of its Measuring Devices // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 79–84.

The coordination problem of accuracy characteristics of measuring devices of the aircraft control system with characteristics of dispersion of its phase coordinates is considered. For its decision it is offered to use the model received by a way linearization of function of many variables on limited set of points.

It is shown that accuracy of the received model above accuracy of known models.

*Key words: the aircraft, a control system, measuring devices, accuracy characteristics, model.*

Status and prospects of creating propulsion space robots / A.A. Ardashev, S.B. Silantev, A.P. Sofin, L.A. Fedorova // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 85–91.

The article presents the main uses of robots in space technology. Considered both conventional and prospective propulsion for space robots Solar system bodies. It is noted that the diversity of environmental conditions in which the robots, caused the emergence of a large number of types of propulsion. The significance of gravity in the process of designing manipulators and thrusters space robot to operate on different cosmic bodies.

*Key words: space robot, a lunar Rover, propulsion, gravity.*

Arseniev V.N., Zinovev K.G., Silantev S.B. The Weighed Account of the Aprioristic and Skilled Information at Research of Complex Systems Longevity // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 92–96.

The problem of estimation of the complex system longevity by results of tests of the limited number of prototypes is considered. For improvement of estimations quality, it is offered to use a method of a priority of the experimental information, which allows to use all available aprioristic and experimental data about reliability characteristics.

*Key words: complex system, reliability, the longevity, the limited tests, a method of a priority of the experimental information.*

Belyanin D.G., Ovchinnikova O.K., Pirogov S.Y. Research of starting modes gas dynamics of the atmospheric-vacuum wind tunnel // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 97–105.

In article the gasdynamic processes proceeding in case of start of an atmospheric-vacuum wind tunnel are considered. Authors carried out a row of computing experiments in the program Ansys Fluent complex. On the basis of the received results an assessment of efficiency of the camera of Eyfel is given and explicitly process of passing of a shock wave via the vacuum chamber for different geometrical parameters of nozzles is considered. The made computing experiments allowed to draw a conclusion that processes of start of nozzles don't exert impact on the processes proceeding in volume of the vacuum chamber as their characteristic time is significantly less.

*Key words: wind tunnel, numerical simulation.*

Bulekbaev D.A., Morozov A.V. The reckoning of parameters of transient process in the machine aggregate with a friction clutch. // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 106–113.

This article proposes a new method for reckoning of parameters of transient process in the machine aggregate with a friction multidisc clutch, founded on the research of nonlinear system of differential equations.

*Key words: friction clutch, frictional energy, transient process, nonlinear differential equations*

Vishnyakov E.P., Ilin A.V., Shvaikovsky M.A. Diagnosis phase loss of overhead power lines energized // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 114–117.

This article is devoted the analysis of possibilities of determination of damage to power lines in the parameters of the emergency mode. The main features that characterize open-phase modes in radial diagrams and the diagrams with two-way power. We propose a method for detection of open-phase mode of operation of transmission lines based on the measurement of capacitive currents and the angles of phase shift between currents and voltages on the protected line.

*Key words: definition of places of damage of lines of open-phase mode, the capacitive current, phase, relay protection, phase relationship between current and voltage.*

Garagulya A.S., Marynich R.A., Sokolov V.Y. Improving the efficiency of the use of electronic means of spacecraft control at the expense of laying functions duty calculations for automation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 118–123.

Discusses the prospects for improving the operational and technical characteristics for command-measuring systems with the aim of reducing the number of errors when performing session control by the spacecraft. The analysis of the activities of the operators on duty calculations electronic means of spacecraft control during the management sessions. Provides an assessment of the effectiveness of automated communication sessions with the spacecraft without the participation of active-duty calculations.

*Key words: radio-electronic system of spacecraft control, command and measuring system, duty calculation, automation of management processes.*

Gorsky A.N., Kargu D.L., Shubin D.A. General approach to mathematical solution of electromagnetic compatibility problems in the power supply system of spacecraft // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 124–131.

In this article meaning of the concept of «electromagnetic compatibility», describes a general approach to the solution of electromagnetic compatibility problems and methods of analysis of electromagnetic compatibility in the power supply system of spacecraft.

*Key words: spacecraft, on-board power supply system, electromagnetic compatibility, electromagnetic environment.*

Grushkovskiy P.A. The algorithm of the vibration parameters using in the diagnosis of the objects with rotational and reciprocating movement of the inertial mass // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 132–136.

The article discloses the problems of the using of the vibrating processes parameters received in the diagnostics of the objects with rotational and reciprocating movement of the inertial masses. As the controllable parameters are the coefficients obtained as a result of the vibrogram decomposition in the partial sum of the Fourier series. The numerical integration method, namely, the formula of rectangles is used for its calculation. The array of Fourier coefficients, which is used as controlled parameters is set. The block diagram of the algorithm using parameters of vibration processes is following.

*Key words: the technical state, the controlled parameter, the Fourier coefficients, normalized to the observed condition, the RMS error.*

Dzitoev A.M., Lapovok Y.V., Khankov S.I. Characteristic temperatures and parameters of the Earth, creating its thermal radiation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 137–143.

Parameters which set determines specific flows of radiation of Earth in space are analysed. Use of reliable data on capacity of own thermal radiation of Earth is necessary for carrying out calculations of the thermal modes of spacecrafts. Definitions of characteristic temperatures are given. It is shown that on a long historical interval perhaps formal use as the parameter determining the thermal flows radiated by Earth, effective temperature. On the basis of the analysis of characteristic temperatures of Earth sizes of effective degrees of blackness of the planet in general, and also the land surface and the atmosphere are determined. The technique of calculations of specific thermal flows of radiation of Earth in the set spectral ranges, including in a window of transparency of the atmosphere is stated. These data are necessary for a task of capacities of flows of background radiation on an entrance pupil of cryogenic telescopes of the infrared range. The essential contribution to the background radiation of Earth within a transparency window from 8 microns to 13 microns of own thermal radiation of the atmosphere is shown.

*Key words: energy balance of the spacecraft on Earth orbit, the thermal radiation of Earth, effective temperature of Earth, planetary temperature, effective degree of blackness of Earth, effective degree of blackness of the land surface, effective degree of blackness of the atmosphere.*

Dzitoev A.M., Khankov S.I. Method of calculation of ultimate capacity of the continuous radiation of YAG:Nd<sup>3+</sup> - laser on wavelength of 1,06 microns // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 144–152.

Analytical ratios for calculation of density of power of continuous generation of the laser on yttrium - aluminum pomegranate activated by neodymium taking into account influence of heating of a crystal on strengthening coefficient size are received. The limit operating mode of the laser limited to growth of temperature is compared with the extreme power of a rating at which achievement

failure of generation owing to spherical deformation of the resonator is carried out, and also there occurs mechanical destruction of a crystal of pomegranate under the influence of the temperature tension arising in its volume. Influence of size of Stokes losses, intensity of cooling and the size of an active element on operation of the laser is investigated. The possibility of realization of a continuous operating mode of the laser on the grenade at natural cooling of a crystal is shown.

*Key words: the solid-state laser on the grenade, YAG:Na<sup>3+</sup> crystal, temperature dependence of coefficient of strengthening of the active environment, spherical deformation of the resonator, temperature tension in an active element, durability of material of an active element.*

Zakharov I. V., Kalyuzhny A.V., Shushakov A.O. Model of workload distribution in the computing system with management of functional redundancy // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 153–158.

An approach to ensuring the reliability and survivability of computing systems based on the functional method of reservation. A model is proposed that takes into account the resource and temporal characteristics of the targets and the resource-time status of computational modules, allowing to obtain analytical relations for estimation of survivability of computing systems, as well as runtime targets in terms of degradation of the computational structure when implementing the various methods of computational modules.

*Key words: computing system, functional redundancy, survivability.*

Zubarev A.V., Karagodin V.V., Polyanskiy K.A. Improving the mathematical model of the optimization of the uninterruptible power supply system structure of responsible consumers of the space force objects // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 159–165.

The article discusses the approach to improving the mathematical model of optimization problem the structure of the uninterruptible power supply system (UPS) on the basis of static uninterruptible power supply, consisting in the transformation of the objective function, which is on par with regard to capital expenditure on the construction of UPS is proposed to take into account the costs of its operation. The use of advanced mathematical models will allow more accurate selection of the optimal variant of construction of UPS without increasing the complexity of the algorithm for solving the problem.

*Key words: optimization, uninterruptible power system, essential consumer, discounted costs.*

Mandrica D.P. Identification characteristic material engineering design special buildings // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 166–169.

The Solved problem to identifications of the mechanical features viscous-springy material by method to differential approximation with use modified итерационной scheme Gaussa-Newton. For estimation of accuracy of the considered method is solved problem to identifications (11) for hard полиуретана.

*Key words: physico-mechanical characteristic, nonlinear viscous-springy material, identification material.*

Sasunkevich A.A., Sofin A.P., Fedorova L.A. Factors of outer space and protecting space robots from outer influence // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 170–175.

The prospects of space exploration associated with development of robotic systems, the requirements for which must take into account the space conditions. The article presents some of the possible ways of protecting space robots from effects of space factors.

*Key words: robot, conditions of space, manipulator, space, protection.*

Skorobogatova O.A. Asymptotic solution of the problem of diffraction of a plane electromagnetic wave on a cylindrical structure with impedance coating // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 176–182.

The proposed asymptotic solution of the problem of diffraction of a computer on a cylindrical surface with impedance coating. Unlike proposed solutions from the classical lies in the fact that in the proposed solution of the problem of diffraction at the same time takes into account curvature and radiophysical properties of the electric radius of the object.

*Key words: impedance cylinder, electromagnetic wave, superposition of fields, the Hankel function.*

Smolinsky S.N. Evaluation technical and economic efficiency modernization of heating with the automated coal-fired boiler with a boiler high-temperature fluidized bed // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 183–188.

The analysis of the state of heating systems MO.RF. objects A review of research on the development of methods for assessing the technical and economic efficiency of capital investments Construction and reconstruction of coal-fired boilers for the high-temperature fluidized bed technology. The problems for further research to develop methods of "rapid assessment" technical and economic ef-efficiency heating systems with automated coal-fired boiler stocked high temperature fluidized bed boilers. The characteristic of the collection, processing and analysis of primary statistical data on technical and economic indicators of inefficient boilers and heating networks on the RF Ministry of Defense sites.

*Key words: capital investment, boilers with high-temperature fluidized bed, the production functions.*

Evaluation of the level of formation of competences of graduates of military educational institutions in the course of the state final examination / V.V. Aleynik, N.S. Kuzhekin, V.V. Myshko, V.A. Chikurov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 189–197.

Outlines General requirements and milestones of the state final certification of graduates of the University, the order of formation of the Fund assessment tools for the state final certification, and also provides concrete examples and practical advice on the filling elements of the basic professional educational programs subject carried out the first issue of students who have mastered the educational program of a specialist program, developed on the basis of competence approach.

*Key words: competence, competence, formation and evaluation of competencies, training of military specialists, Fund of assessment tools, the state final examination.*

Boguk Y.M., Golubev M.A., Kuzhekin M.S. The project model of the educational disciplines in the military educational institutional on the basis of the competent approach in education // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 198–202.

The work presents a scientific and methodological justification for the design of educational disciplines in the training of military specialists in military educational institutions of the Ministry of Defense of the Russian Federation in accordance with the requirements of federal state educational standards. In the methodology, the initial data necessary for planning the educational process are disclosed, and the main stages of the work of specialists and experts in the formation of a model for the design of educational disciplines are determined.

*Key words: model of designing of educational disciplines, scientifically-methodical substantiation of a technique of designing of educational disciplines, the competence.*

Ivanova E.V., Kukoba A.S., Jablochkin A.B. Evaluation of the effectiveness of the organization of independent work of foreign military personnel in studying physico-mathematical sciences // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 203–207.

Quality management finds the increasing application in educational process. In this article by means of a method of SWOT-analysis strategic line items of the organization of independent work of the foreign military personnel when studying physical and mathematical disciplines are determined. Actions for increase in efficiency of carrying out independent work taking into account professional training of the military personnel are offered.

*Key words: quality management, SWOT-analysis, educational activities, organization of independent work, strategic management.*

Gytorovich V.N., Gytorovich O.V. Psychological warfare and moral-psychological training of military personnel: the ontological aspect // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 208–217.

In this article, the author refers to the concept of "psychological warfare" by revealing the essence of this phenomenon and identifying the causes that contributed to its appearance. The appeal to the ontological aspect of psychological warfare, involves the analysis of basic types and methods of psychological influence, and the means by which it is carried out. Due to the fact that the introduction of new methods of psychological warfare raises the important question of moral-psychological training of personnel, the author examines the impact of morale on combat activity of the soldier, showing the role and importance of moral-psychological training of servicemen.

*Key words: psychological warfare, psychological impact, techniques of psychological warfare, social advocacy, moral-psychological training, a serviceman.*

Latanov V.M., Losik A.V. About the importance of military and technological disciplines in aerospace parts during their formation as independent constituents of the Soviet Armed Forces. The historical aspect (December 1981 - September 1989) // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 218–227.

The article is devoted to the study of the historical aspect of military and technological subjects fixed in the outer parts during the period of their formation as a new independent component parts of the Armed Forces of the USSR. This article discusses some features of the military-political situation and socio-economic development of the country in the period of perestroika, which, according to the authors, have largely led to increased attention of the Soviet state-political leadership to the problems of the warrior-tion and technological discipline. It is noted the special importance of military and technological discipline in outer parts, which determined a significant increase of their role in strengthening the country's defense, special the specifics of the tasks they perform, the features of combat activities and the deployment of parts of the SPACECRAFT and SPACECRAFT control, uniqueness operated by space-rocket equipment, in other circumstances.

*Key words: military and technological discipline, the state and political leadership, the testing work (OIR), crew, duty, combat duty, space.-you (KA), the General Directorate of space means of defense of the USSR (GUKOS MO) office of the chief of space means of defense of the USSR (UNX MO), a research test site of the Ministry About defense of the USSR (NIIP MO USSR), Chief research and test center, USSR Ministry of defense (GNIIT MO), a private scientific testing point (ONIP), violation of technological discipline (NTD)*

Ogorodnikov V.P. The role of the teacher humanities disciplines of the military the highest school in a conditions ascending of informational and ideological war // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 228–235.

Defines the role of the teacher humanities disciplines of the military the highest school at a very difficult stage of development in Russia today. Discusses objective and subjective factors the determiner formation of the ideology of the future officer. Explained by the value of the humanities in a conditions ascending of informational and ideological war.

*Key words: informational and ideological war, ideology, scientific worldview, plurality, truth, patriotism.*

Repyakh N.A., Hrustova A.N. The problem of war and peace in the philosophy of russian revolutionary democrats // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 236–242.

The article deals with the issues of war and peace in the philosophy of Russian thinkers of the XIX century. The attention is focused on different aspects of the war as a social phenomenon, the causes of war, relations of war and politics, the impact on the social development of the war.

*Key words: war, peace, the connection between war and politics, conquest and wars of liberation.*

Tarasov A.V., Schalonov E.V. Military collective as tutor of the military personnel: urgent problems of the theory andpracticians // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 656. – P. 243–246.

In articli the role of collective as object and the subject of education reveals. Main directions of its forming.

*Key words: military group, military and pedagogical process, stages of development of collective, management, asset.*

**Алейник Виталий Валерьевич**, начальник 9-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-69, e-mail: valeynik@nm.ru

**Ардашов Август Анатольевич**, старший научный сотрудник 21-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 347-97-21, e-mail: avgust.ar@yandex.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 (812) 347-95-25, e-mail: vladar56@mail.ru

**Басотин Евгений Викторович**, начальник 1-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-10, e-mail: Basotin@yandex.ru

**Бачевский Антон Сергеевич**, преподаватель 82-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (965) 017-47-00, e-mail: antbachev@gmail.ru

**Белянин Дмитрий Геннадьевич**, начальник 17-го отдела (научно-исследовательского) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 752-45-25, e-mail: kafedra17@rambler.ru

**Бережной Игорь Владимирович**, доцент 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: berezhnoy-igor@yandex.ru

**Богук Юрий Михайлович**, профессор 71-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (950) 016-07-01, e-mail: 89500160701B@gmail.ru

**Брагинец Владимир Феодосиевич**, начальник отдела – главный конструктор направления филиала «Прецизионного навигационно-баллистического обеспечения» акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» (141092, Россия, Московская область, г. Королев, мкр. Юбилейный, ул. Пионерская, 12); кандидат технических наук; тел.: 8 (495) 221-82-41.

**Булекбаев Дастанбек Абдыкалыкович**, заведующий 111-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-31, e-mail: atiman@mail.ru

**Вишняков Евгений Павлович**, доцент 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-44.

**Гарагуля Александр Степанович**, доцент 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 252-47-16, e-mail: garagulya.a@mail.ru



**Голубев Михаил Александрович**, старший научный сотрудник 61-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 (951) 672-81-81.

**Горский Алексей Николаевич**, преподаватель 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-22 e-mail: dmitrii\_kargu@mail.ru

**Готюр Иван Алексеевич**, начальник 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 346-96-52.

**Гравченко Юрий Анатольевич**, заместитель начальника 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 347-95-14, e-mail: juraGR2025@yandex.ru

**Гранкин Борис Константинович**, профессор 14-й кафедры стартовых и технических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: borisgrankin@yandex.ru

**Григорашев Игорь Николаевич**, старший научный сотрудник НИЦ (г. Королев) ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт Войск ВКО Минобороны России» (141090, Россия, Московская обл., г. Королев, мкр. Юбилейный, ул. Тихонравова, 29); кандидат технических наук; тел.: 8 (916) 241-98-40.

**Грушковский Павел Анатольевич**, адъюнкт 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 748-00-92, e-mail: pasha-089@yandex.ru

**Гуторович Валерий Николаевич**, доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29); кандидат философских наук; тел.: 8 (911) 835-32-02; e-mail: valgut@yandex.ru

**Гуторович Ольга Викторовна**, доцент 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук; тел.: 8(911) 841-69-19; e-mail: olwikgut@yandex.ru

**Дзитоев Азамат Миронович**, начальник 462-й лаборатории – старший бортовой оператор Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: Leva0007@rambler.ru

**Жиганов Евгений Борисович**, старший преподаватель 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: evgenius@fromru.com

**Жуков Александр Николаевич**, главный конструктор – заместитель директора филиала «Прецизионного навигационно-баллистического обеспечения» акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» (141092, Россия, Московская область, г. Королев, мкр. Юбилейный, ул. Пионерская, 12); кандидат технических наук; тел.: 8 (495) 509-15-20.

**Замарин Александр Иванович**, профессор 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (921) 918-77-72.

**Захаров Иван Вячеславович**, докторант 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 776-29-58, e-mail: x.vano-z80@yandex.ru

**Зиновьев Константин Геннадьевич**, помощник начальника 1-го Государственного испытательного космодрома по научно-исследовательской и испытательной работе (164170, Россия, Архангельская обл., г. Мирный); тел.: 7 (921) 483-39-68.

**Зубарев Алексей Владимирович**, преподаватель 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 174-67-19, e-mail: zubarew.a@mail.ru

**Иванова Елена Владимировна**, доцент кафедры филиала Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.Ф. Хрулёва (644098, Россия, г. Омск, 14-й военный городок); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (2812) 44-97-98, e-mail: otiu@mil.ru

**Ильин Антон Викторович**, старший преподаватель 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-44.

**Калюжный Алексей Викторович**, начальник лаборатории 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 117-42-62, e-mail: aleksei.kalyuzhnyi@yandex.ru

**Карагодин Владимир Викторович**, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 227-36-79, 8 (812) 347-95-44, e-mail: vladimirkar@rambler.ru

**Каргу Дмитрий Леонидович**, начальник 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-22 e-mail: dmitrii\_kargu@mail.ru

**Кириллюк Елена Владимировна**, студентка кафедры СМЗ «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); тел.: 8 (499) 261-45-90.

**Корянов Всеволод Владимирович**, доцент кафедры СМЗ «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» Московского Государственного Технического Универ-

ситета имени Н.Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); кандидат технических наук; тел.: 8 (499) 261-45-90.

**Кисленко Константин Викторович**, старший научный сотрудник НИЦ (г. Королев) ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт Войск ВКО Минобороны России» (141090, Россия, Московская обл., г. Королев, мкр. Юбилейный, ул. Тихонравова, 29); тел.: 8 (926) 839-79-05, e-mail: kislenko@spnav.ru

**Коновалов Дмитрий Юрьевич**, преподаватель 82-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (198197, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 367-50-50, e-mail: duk2103@rambler.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.

**Кукоба Анна Сергеевна**, преподаватель кафедры филиала Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.Ф. Хрулёва (644098, Россия, г. Омск, 14-й военный городок); тел.: 8 (2812) 44-97-98, e-mail: otiu@mil.ru.

**Латанов Владимир Михайлович**, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук, доцент; тел.: 8 (921) 924-78-56, e-mail: Latanov52@mail.ru

**Лабец Виталий Васильевич**, заместитель начальника 82-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 937-40-21, e-mail: timonmicro@mail.ru

**Лаповок Евгений Владимирович**, старший научный сотрудник 43-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 (812) 347-95-18, e-mail: Leva0007@rambler.ru

**Лосик Александр Витальевич**, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), заместитель главного редактора журнала для ученых «Клио»; доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (965) 099-80-91, e-mail: poltorak2006@yandex.ru

**Мандрица Дмитрий Петрович**, доцент 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-97-46, e-mail: MANDRIZA66@mail.ru

**Марынич Роман Александрович**, ведущий инженер ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики имени Д.И. Менделеева» (115487, Россия, Москва, ул. Нагатинская, 16А); тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: marynich\_roman@yandex.ru

**Мокан Денис Олегович**, докторант 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail:mdo.vka@yandex.ru

**Морозов Алексей Валентинович**, профессор 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат физико-математических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-31, e-mail: Alex.Morozof@gmail.com

**Мышко Василий Васильевич**, доцент 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-65, e-mail: vasvasmishko@mail.ru

**Овчинникова Ольга Константиновна**, старший научный сотрудник 171-й лаборатории (научно-исследовательской) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (921) 645-23-85, e-mail: artnetrut@yandex.ru

**Огородников Владимир Петрович**, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор философских наук, профессор; тел.: 8 (951) 668-24-86, e-mail: ogo-vladimir@yandex.ru

**Павлов Александр Николаевич**, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8(911)-259-71-53, e-mail: pavlov62@list.ru

**Павлов Алексей Александрович**, адъюнкт 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 761-28-52, e-mail: Pavlovs2007@mail.ru

**Павлов Дмитрий Александрович**, начальник лаборатории – старший научный сотрудник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(812)-237-12-49, e-mail: dpavlov239@mail.ru

**Пирогов Сергей Юрьевич**, начальник 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (964) 334-01-52, e-mail: kafedra17@rambler.ru

**Полянский Константин Аркадьевич**, адъюнкт 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 779-69-13, e-mail: kostyapol2007@rambler.ru

**Пророк Валерий Ярославович**, профессор 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 161-00-95, e-mail: val-prorok@mail.ru

**Прохоренко Павел Александрович**, адъюнкт 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 346-96-52.

**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

**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); тел.: 8 (812) 347-95-21, e-mail: saa-soso@rambler.ru

**Силантьев Сергей Борисович**, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-21, e-mail: silantev2008@yandex.ru

**Скоробогатова Ольга Анатольевна**, начальник 57-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 37); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 226-98-44.

**Слинько Алексей Алексеевич**, адъюнкт 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 172-40-25, e-mail: Thebestman\_leshka@mail.ru

**Смолинский Сергей Николаевич**, начальник Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); тел.: 8 (812) 578-81-93, e-mail: vatt-spb@mil.ru

**Соколов Виктор Юрьевич**, преподаватель 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 297-75-95.

**Софьин Алексей Петрович**, доцент 114-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-89, e-mail: as-114@yandex.ru

**Степанов Михаил Николаевич**, научный сотрудник 4 ЦНИИ Минобороны РФ, доцент кафедры СМЗ «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); кандидат технических наук; тел.: 8 (499) 261-45-90, e-mail: step\_m\_n@mail.ru

**Ступаков Кирилл Валерьевич**, адъюнкт 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: stupakov-kirill@mail.ru

**Тавалинский Дмитрий Анатольевич**, доцент 12-й кафедры Череповецкого высшего военного инженерного училища радиоэлектроники (162622, Россия, Вологодская область, г. Череповец, Советский пр., 126); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (981) 500-12-68, e-mail: tdvka@mail.ru

**Тарасов Александр Владимирович**, заведующий 108-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 327-95-04, e-mail: vka@mil.ru

**Фёдорова Людмила Анатольевна**, доцент 114-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-89, e-mail: kingalya@mail.ru

**Ханков Сергей Иванович**, старший научный сотрудник 43-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 (812) 347-95-18, e-mail: Leva0007@rambler.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

**Цыганов Андрей Сергеевич**, адъюнкт 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 749-57-66, e-mail: porudchik@mail.ru

**Чикуров Виталий Александрович**, начальник 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-65, e-mail: chikurov69@bk.ru

**Шаймухаметов Шамиль Ильдусович**, адъюнкт 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 192-87-59, e-mail: 28\_172@mail.ru

**Шалонов Евгений Владимирович**, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по работе с личным составом (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 327-95-42, e-mail: vka@mil.ru

**Шаталов Александр Андреевич**, доцент 82-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 571-11-61, e-mail: sh\_alan@mail.ru

**Шаталова Валентина Александровна**, доцент 81-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 571-11-61, e-mail: sh\_alan@mail.ru

**Швайковский Михаил Александрович**, доцент 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-44.

**Шубин Денис Александрович**, адъюнкт 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-22, e-mail: dmitrii\_kargu@mail.ru

**Шушаков Алексей Олегович**, преподаватель 24-й кафедры 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

**Яблочкин Артём Борисович**, заместитель начальника факультета танкотехнического обеспечения филиала Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.Ф. Хрулёва (644098, Россия, г. Омск, 14-й военный городок); тел.: 8 (2812) 44-97-98, e-mail: otiu@mil.ru

**Аверкиев Николай Фёдорович**, профессор 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-16, e-mail: averkiev@mail.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, e-mail: orbitarus@mail.ru

**Булекбаев Дастанбек Абдыкалыкович**, заведующий 111-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-07.

**Власов Сергей Александрович**, доцент 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-16.

**Волков Валерий Фёдорович**, профессор 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-64.

**Горбулин Владимир Иванович**, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197082, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-22, e-mail: v\_gorbulin@mail.ru

**Лоскутов Андрей Иванович**, начальник 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-34.

**Мануйлов Юрий Сергеевич**, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-65, e-mail: kotmanof@rambler.ru

**Минаков Евгений Петрович**, профессор 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 247-98-01, e-mail: ep.minakov12345@mail.ru

**Миронов Александр 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) 347-96-13, e-mail: mirovov-anik@yandex.ru

**Москвин Борис Владимирович**, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-62.

**Онуфрей Андрей Юрьевич**, ведущий научный сотрудник 5-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского



го (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 230-28-15.

**Пирогов Сергей Юрьевич**, старший преподаватель 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-25, e-mail: pirogov205@mail.ru

**Силантьев Сергей Борисович**, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 951-16-32.

**Цветков Кирилл Юрьевич**, начальник 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-97-25.

**Щукин Георгий Георгиевич**, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор физико-математических наук, профессор; тел.: 8 (921) 899-55-05, e-mail: ggshchukin@mail.ru