

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

Выпуск 658

2017 г.

Научное рецензируемое издание
Выходит с 1942 года

К 75-летию
издания

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.*; **Д.Н. Бирюков**, *доктор техн. наук*;
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. Кунтурова, *доктор пед. наук, доц.*; **А.Г. Ломако**, *доктор техн. наук, проф.*;
Г.Н. Мальцев, *доктор техн. наук, проф.*; **Ю.С. Мануйлов**, *доктор техн. наук, проф.*;
Т.О. Мысливцев, *доктор техн. наук*; **А.В. Паршуткин**, *доктор техн. наук, проф.*;
Н.А. Репях, *кандидат филос. наук, доц.*; **А.В. Харченко**, *доктор техн. наук, доц.*;
К.Ю. Цветков, *доктор техн. наук, проф.*; **А.В. Чарушников**, *доктор воен. наук, проф.*

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:

С.И. Кипа

Подписано к печ. 23.09.2017. Формат печатного листа 445×300/4. Уч.-печ. л. 68,00. Уч.-изд. л. 33,50
Тираж 50 экз. Заказ 3556/282. Отпечатано в типографии ВКА им. А.Ф. Можайского

ISSN 2218-5429

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

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кулешов Ю.В.</i> Научному периодическому изданию Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского 75 лет	6
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ	
<i>Басыров А.Г., Рыжиков Ю.И.</i> Проблема точности вычислений при моделировании информационных систем.....	8
<i>Скороходов Я.А.</i> Алгоритм формирования решающих правил классификации телеметрируемых процессов по вероятностной структуре с использованием статистик «превышений уровней».....	17
СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ	
<i>Галандзовский А.В., Гусаров А.А., Паршуткин А.В., Саидж М.</i> Исследование помехоустойчивости радиолокационной станции обзора пространства к воздействию группы источников непреднамеренных шумовых помех.....	27
<i>Таныгин А.В.</i> Коррекция исходной конфигурации маршрута полета беспилотного планирующего летательного аппарата на этапе контроля реализуемости	35
СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Горбулин В.И., Радионов Н.В., Ходор М.А., Чудновский Ю.А.</i> Особенности применения метода анализа иерархий при выборе состава оптико-электронного сегмента системы мониторинга воздушного пространства...	44
<i>Доронин А.П., Козлова Н.А., Лебедев А.Б., Петроченко В.М., Шмалько С.А.</i> Эмпирические модели водности и водозапаса волнистообразных и слоистообразных облаков над Центральным районом Европейской территории России.....	54
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	
<i>Сухов А.М.</i> Подход к упреждению комплексных компьютерных атак в автоматизированной системе специального назначения	62

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Колесников К.Г., Масалкин А.А., Москвин Б.В.* Координационное планирование целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли..... 78

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

- Абсалямов Д.Р., Аитов Р.Н., Марченко М.А.* Повышение энергоэффективности при эксплуатации системы электроснабжения наземных комплексов космического назначения путем применения дизель-генераторных установок с переменной частотой вращения 85
- Авсеенко А.И., Гнатюк В.И., Дорофеев С.А., Кивчун О.Р.* Снижение электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса на основе синтеза процедур рангового анализа 93
- Алексеев К.В., Демидова Н.С., Лебедев Е.Л., Михайленко А.В.* Оценивание свойств поверхностей стенок камер жидкостных ракетных двигателей по параметрам интенсивности света их цифровых изображений 102
- Алексеев К.В., Лебедев Е.Л., Мохнаткин Д.П., Смуров С.А.* Методика оценивания потери несущей способности металлоконструкции по результатам коэрцитиметрического контроля..... 111
- Алексеев К.В., Лебедев Е.Л., Мухин И.Е., Попов П.Г., Самойлов Н.С.* Применение акустико-эмиссионных средств для регистрации начала образования и развития трещин в конструкционном материале корпусов летательных аппаратов 119
- Дьяков А.Н., Жеребцов Е.А., Кокарев А.С., Решетников Д.В.* Алгоритмы оперативного обоснования оптимальных планов доставки комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей 130
- Зарин С.В., Исхаков Ш.Ш., Ковалев Ф.Е.* К вопросу о научной обоснованности и практической применимости количественной меры надежности специальных зданий и сооружений..... 138
- Захаров И.В.* Модель функционирования перестраиваемой бортовой вычислительной системы с учетом ее возможной деградации 144
- Казанцев А.А., Самородов А.А., Самородов Б.А.* Обоснование требований к периоду зондирования в наземных радиолокационных станциях радиовидения..... 153
- Лебедев Е.Л., Мохнаткин Д.П., Смуров С.А.* Коэрцитивная сила как диагностический признак наличия пластической деформации в стальной конструкции 163

<i>Немиров А.В., Стеганов Г.Б., Чудновский Ю.А., Штанов И.Н.</i> Управление формовочным зарядом никель-водородных аккумуляторных батарей системы электроснабжения космического аппарата	168
<i>Попов В.А., Рыбаков В.В., Ситников А.В., Щельников В.Н.</i> Совершенствование стационарных систем контроля технического состояния несущих конструкций стартовых сооружений в ходе их длительной эксплуатации...	175
<i>Птушкин А.И., Решетников Д.В., Тришункин В.В.</i> Управление жизненным циклом критически важных объектов на основе конвергентных технологий	183
<i>Старусев А.В.</i> Анализ аварийных факторов и системы «оператор – управляемое активное средство – среда» при испытаниях специальной техники.....	192
<i>Гера В.И., Каменев Ю.А., Мацкевич А.В., Соломахин А.С., Сычева А.М.</i> Методика синтеза полимерцементного неавтоклавного пенобетона для строительства автомобильных дорог необщего пользования в условиях Арктики и Крайнего Севера	201
ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ВОЙСК	
<i>Голубев М.А., Маслов В.П., Селихина Н.В.</i> Этапы формирования компетенций при проектировании основных профессиональных образовательных программ	210
<i>Горшков М.А., Окунев С.Ю.</i> Нормативно-правовые и содержательные аспекты патриотического воспитания курсантов военного вуза в ходе изучения учебной дисциплины «Военная история»	219
<i>Кужекин Н.С., Курдай Н.В., Пауков А.Б.</i> Формирование методической подготовленности курсантов в ходе освоения основной профессиональной образовательной программы	225
<i>Кужекин Н.С., Репях Н.А., Хрустова А.Н.</i> Методологические проблемы разработки программы профессиональной переподготовки педагогических работников в военном учебном заведении	229
<i>Кунтурова Н.Б., Прокофьева А.Л.</i> Анализ результатов педагогического эксперимента по углубленному изучению иностранного языка при помощи электронных учебных курсов	233
<i>Гузенко В.Л., Фаттахов Р.Ф., Федирко А.А.</i> Оценивание безопасности военной службы на основе концепции управления рисками	239

ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК

<i>Багрецов С.А., Кулганов В.А., Фомичев А.Д.</i> Методика комплектования малых групп воинских формирований на основе применения условного критерия предпочтения	248
Рефераты статей.....	254
Сведения об авторах.....	262
Сведения о рецензентах.....	269

НАУЧНОМУ ПЕРИОДИЧЕСКОМУ ИЗДАНИЮ ВОЕННО-КОСМИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО 75 ЛЕТ

В этом году исполнилось 75 лет с момента выхода в свет первого номера научного журнала «Труды Ленинградской военной воздушной академии Красной Армии». Сформированная накануне Великой Отечественной войны Ленинградская военная воздушная академия Красной Армии (ЛВВА КА) сразу начала развиваться не только как учебный, но и как крупный научный центр.

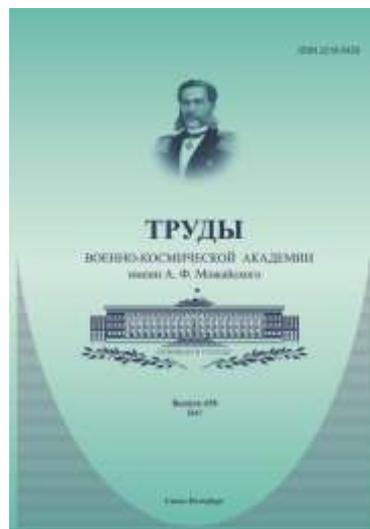
В декабре 1941 года был создан ученый совет академии. В тяжелейших условиях военного времени в академии шла напряженная научно-исследовательская работа, и уже в 1942 году в свет вышли два выпуска научного журнала «Труды Ленинградской военной воздушной академии Красной Армии». В первом выпуске, подписанном к печати 3 июля 1942 года, было опубликовано 12 статей. В их числе статья авторитетных ученых, докторов технических наук К.Ф. Косоурова и О.Н. Розанова, посвященная проблеме влияния параметров крыла на поперечную устойчивость истребителя; В.И. Сифорова – по теории стабильности частоты династронных и транзитронных генераторов; видного ученого-двигателя И.И. Кулагина – о методике расчета высотных характеристик двигателя с приводным центробежным нагнетателем; будущего видного ученого, а тогда еще кандидата технических наук Л.Д. Гольдштейна – по вопросам радиовождения самолетов в вертикальной плоскости.



*Труды ЛВВА КА
(выпуск 1, 1942 год)*



*Научно-технический сборник
(выпуск 614, 1988 год)*



*Труды ВКА имени
А.Ф. Можайского
(выпуск 658, 2017 год)*

Каждый раз, когда изменялось название академии, менялось и название журнала. Тематика помещенных в него материалов тоже претерпевала изменения в соответствии с проблемами, над которыми работал коллектив академии. Периодически выпуски Трудов были посвящены работам ученых академии персонально (в 1950 году – работам Я.З. Цыпкина, в 1951-м – Н.В. Григорьева, в 1958-м – Ф.М. Килина, в 1960-м – О.В. Рожина, В.Н. Шило, в 1961-м – В.А. Климова).

Редакционная коллегия журнала всегда формировалась из числа авторитетных ученых. В состав первой редакционной коллегии входили: В.И. Сифоров, О.Н. Розанов, Ф.Я. Спаский. В дальнейшем редакционную коллегию, как правило, возглавлял заместитель начальника академии по учебной и научной работе.

С 1973 по 2006 год труды ученых публиковались в издании под названием «Научно-технический сборник (Труды)». В 2007 году периодическое научное издание вновь стало выходить как «Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского». За 75 лет вышло в свет более 650 выпусков периодического научного издания академии.

Став авторитетным изданием в области космической деятельности, разработки перспективных видов вооружения, военной и специальной техники и информационных технологий, «Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского» с 1 декабря 2015 года вошли в Перечень рецензируемых научных изданий, в котором должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата наук и доктора наук. В журнале особое место занимают статьи, посвященные проблемам гуманитарных и общественных наук, военного образования и воспитания.

Имея современный вид и официальный сайт в Интернете, Труды академии становятся активным источником научных знаний и их пропаганды, а также инструментом продвижения передовых научных технологий и их апробации.

Главный редактор Ю.В. Кулешов

А.Г. Басыров,
доктор техн. наук, профессор;
Ю.И. Рыжиков,
доктор техн. наук, профессор

ПРОБЛЕМА ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Описан расчет систем обслуживания методом матрично-геометрической прогрессии (МГП). Рассмотрен расчет начальных векторов вероятностей микросостояний в виде решения «общей» системы уравнений. Проведено исследование влияния на реализацию этапов МГП разрядности путем вычислений в среде Интел-Фортрана с 16- и 32-байтовым представлениями комплексных значений. Установлены границы возможностей метода МГП по числу каналов применительно к моделям $M/E_3/n$ и $M/H_2/n$.

Ключевые слова: теория массового обслуживания, фазовые аппроксимации, разрядность вычислений.

ВВЕДЕНИЕ

Вступление человечества в эру информационных технологий определяет растущий интерес к методам проектирования и оценки эффективности функционирования систем обработки и передачи данных. Практически универсальным инструментом оценки эффективности функционирования систем обработки и передачи данных становится имитационное моделирование. Его принципиальными недостатками являются: сложность программирования вследствие богатой логики программы и взаимозависимости ее ветвей; принципиально ограниченная точность (в [1] показана практическая невозможность уменьшения погрешности оценки π методом статистических испытаний ниже 10^{-4}); низкая точность определения вероятностей редких событий; большая трудоемкость. Последняя резко возрастает при работе с *сетями обслуживания*, когда многократно увеличиваются затраты на выбор ближайшего из запланированных событий и продвижение очередей. Задачи оценки качества систем обработки и передачи данных и оценки их эффективности актуальны и для *военных приложений* – в частности, при анализе возможностей автоматизированных информационных систем и центров обработки данных на основе моделирования информационных процессов. Поэтому все большее значение приобретают численно-аналитические методы. Основу таких методов составляет теория массового обслуживания (ТМО), она же – теория очередей.

Особенностью текущего момента является то, что технологии производства и характеристики микропроцессоров, составляющих основу современных ЭВМ, приближаются к фундаментальным физическим ограничениям. По этой причине требуемые показатели производительности достигаются созданием многопроцессорных и много-машинных систем, возможности расчета которых *современными* методами ТМО исследованы недостаточно. Однако разработчики информационных систем возлагают чрезмерные надежды на «столетней давности» формулы Эрланга и игнорируют все последующее развитие ТМО [2]. Арсенал даже профессионального исследователя включает в себя очень небогатый набор *немарковских* многоканальных моделей систем обслуживания: $M/D/n$ (метод Кроммелина), редко упоминаемое обобщение его А. В. Быкадоровым на $E_k/D/n$ и имеющую ограниченную практическую ценность модель Такача для системы $GI/M/n$.

Остается открытым вопрос о предельном числе каналов, при котором для заданного коэффициента загрузки сохраняется значимая очередь, и о реальных возможностях расчета

таких систем. Это делает расчет многоканальных немарковских систем обслуживания задачей непреходящей актуальности.

Методы расчета упомянутых систем сопряжены с весьма трудоемкими вычислениями, существенными элементами которых являются фазовые аппроксимации временных распределений и итерационные процессы. Условия сходимости последних и вычислительная сложность заключительных этапов накладывают существенные ограничения на размерность решаемых задач – в частности, ограничивают предельное число каналов в обчитываемых системах.

В данной статье оцениваются возможности стандартной схемы матрично-геометрической прогрессии (МГП) для модели $M/H_2/n$ в зависимости от разрядности вычислений.

ФАЗОВЫЕ АППРОКСИМАЦИИ

Упомянутый расчет практически возможен лишь при использовании *фазовых аппроксимаций* распределений интервалов между смежными заявками и длительностью их обслуживания. В ряде реальных ситуаций входящий поток близок к простейшему, что определяет повышенную актуальность соответствующих моделей. Отметим, что происходящие при работе сетей обслуживания многократное случайное просеивание и суммирование потоков приближают потоки на входе узлов к простейшим.

С другой стороны, для марковизации *процесса обслуживания* предлагаются аппроксимации распределения его длительности в виде параллельно-последовательной системы фаз (пример рассмотрен в [3]), как правило, без указания способа расчета параметров аппроксимации. В качестве аппроксимаций обычно используются эрлангова аппроксимация либо гиперэкспоненциальная второго порядка H_2 . Диаграммы состояний системы и переходов между ними приводятся для модели $M/E_3/2$ в [4], а для $M/H_2/3$ – в [5]. Существует, цитируемая М. Ньютом [6], «фольклорная» рекомендация: для распределений с коэффициентом вариации $\nu > 1$ выбирать гиперэкспоненциальную аппроксимацию, а при $\nu < 1$ – эрлангову. Последнее условие (умеренные коэффициенты вариации) типично для большинства приложений, и разработка подпадающих под него расчетных схем представляет особый интерес.

Эрлангово распределение E_k применимо только для аппроксимации распределений с коэффициентом вариации, меньшим единицы. Оно позволяет строго выравнять первый и лишь приближенно – второй моменты распределения, что не обеспечивает требуемую точность расчетов, особенно при небольших k . Однако критически влияющая на трудоемкость расчетов ширина диаграммы (максимальное количество микросостояний на ярусе) очень быстро растет по числу каналов n и порядку $k = 1/\nu^2$ согласно формуле $\binom{n+k-1}{n}$, что приведено в табл.1.

Таблица 1

Количество микросостояний на ярусах модели $M/E_k/n$

Число каналов n	Число фаз обслуживания k				
	2	3	4	5	6
2	3	6	10	15	21
3	4	10	20	35	56
5	6	21	56	126	252
10	11	66	286	1001	3003
20	21	231	1771	10626	53130
30	31	496	5456	46376	324632

При обсчете моделей с меньшими ν могут потребоваться значительно большие значения k с катастрофическим ростом размерности задачи при больших n .

С другой стороны, аппроксимация H_2 позволяет выравнивать *три момента* произвольного распределения, что представляется необходимым и достаточным. На *завершающих* этапах расчета даже «патологический характер» H_2 -аппроксимации при $1/\sqrt{2} < \nu < 1$ (одна из вероятностей выбора фазы отрицательна, а другая – больше единицы), а также комплекснозначные параметры при $\nu < 1/\sqrt{2}$ приводят к вполне осмысленным результатам, согласующимся с найденными другими методами результатами (множественно проверено авторами – [7]). Диаграмма переходов для $M/H_2/n$ имеет ширину $n + 1$, что позволяет обсчитывать системы с большим числом каналов. По указанным причинам наиболее актуальной для практики представляется модель $M/H_2/3$, для которой и проводятся все последующие рассуждения.

Работа системы $M/H_2/3$ может быть интерпретирована как процесс обслуживания потока заявок двух типов, причем тип заявки определяет параметр показательного распределения обслуживания. Обозначим через S_j множество всех возможных микросостояний системы, при которых на обслуживании находится ровно j заявок, а через σ_j – количество элементов в S_j . Далее в соответствии с диаграммой переходов построим матрицы интенсивностей инфинитезимальных переходов:

$$\begin{aligned} A_j[\sigma_j \times \sigma_{j+1}] &- \text{в } S_{j+1} \text{ (прибытие заявки);} \\ B_j[\sigma_j \times \sigma_{j-1}] &- \text{в } S_{j-1} \text{ (полное завершение обслуживания заявки);} \\ D_j[\sigma_j \times \sigma_j] &- \text{ухода из состояний яруса } j. \end{aligned}$$

В квадратных скобках здесь и далее указываются размеры матриц. Для двухфазного распределения легко программируется автоматическое построение этих матриц.

Введем векторы-строки $\gamma_j = \{\gamma_{j,1}, \gamma_{j,2}, \dots, \gamma_{j,\sigma_j}\}$ нахождения СМО в состоянии (j, i) , $j = 0, 1, \dots$. Теперь можно записать векторно-матричные уравнения баланса переходов между состояниями:

$$\begin{aligned} \gamma_0 D_0 &= \gamma_1 B_1; \\ \gamma_0 D_0 &= \gamma_{j-1} A_{j-1} + \gamma_{j+1} B_{j+1}, j = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (1)$$

Систему (1), дополненную условием нормировки, практически приходится расписывать *покомпонентно*. Даже для моделей с ограниченной очередью она характеризуется чрезвычайно высокой размерностью, и стандартные методы решения систем линейных алгебраических уравнений применительно к ней оказываются неэффективными.

МЕТОД МАТРИЧНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ

Для расчета *разомкнутых* систем обслуживания весьма многообещающим выглядит предложенный Ивэнсом [10] и развиваемый М. Ньютоном и его последователями [11, 12] метод *матрично-геометрической прогрессии* (МГП). Идея этого метода заключается в представлении векторов безусловных вероятностей микросостояний полностью занятой системы соотношением типа

$$\gamma_j = \gamma_n R^{j-n}, j = n, n + 1, \dots, \quad (2)$$

где R – матричный знаменатель прогрессии. Выпишем одно из уравнений системы (1) для $j > n$, опуская индексы у стабилизировавшихся к этому ярусу матриц переходов:

$$\gamma_j D = \gamma_{j-1} A + \gamma_{j+1} B. \quad (3)$$

Подставив выражения векторов вероятностей состояний согласно (2), можно переписать (3) в виде

$$\gamma_{j-1} R D = \gamma_{j-1} A + \gamma_{j-1} R^2 B,$$

откуда следует, что искомым знаменатель прогрессии должен удовлетворять матричному квадратному уравнению

$$R^2B - RD + A = 0. \quad (4)$$

Найдя этот знаменатель и имея вектор γ_n вероятностей микросостояний n -го яруса, можно согласно выражению (2) вычислить вероятности микросостояний для $j > n$. Далее рассчитывается распределение числа заявок в системе и по нему – временные характеристики.

Расчет системы обслуживания методом МГП сводится к решаемым последовательно трем подзадачам: вычисление знаменателя МГП, получение начальных векторов вероятностей микросостояний $\{\gamma_j\}, j = \overline{0, n}$ и расчет $\{\gamma_j\}$ для требуемого числа $j > n$. Эти последние векторы вероятностей определяются на основе формулы (2) рекуррентно – путем домножения предыдущего вектора на R .

Расчет знаменателя прогрессии. Такая задача распадается на две: выбор хорошего начального приближения к знаменателю прогрессии R и его итерационное уточнение. Последнее может быть реализовано согласно

$$R = A(D - RB)^{-1}. \quad (5)$$

Сходимость итераций сильно зависит от исходных данных – в частности, для комплексных параметров H_2 -аппроксимации она оказывается немонотонной. Существенную роль играет и качество начальных приближений. Обычно рекомендуется

$$R_0 = xI, \quad (6)$$

где x – предельное отношение суммарных вероятностей смежных ярусов, хорошо аппроксимируемое формулой

$$x = \rho^{2/(1+v_B^2)}, \quad (7)$$

а I – единичная матрица. Для $\rho=0.7$ и E_3 -обслуживания согласно (7) имеем $x=0.5857$. Несколько более точное значение $x=0.5945$ можно получить по довольно сложной методике Такахаси [13]. Оно ненамного приближает нас к искомому знаменателю МГП. Примерно так же обстоит дело при обслуживании с коэффициентом вариации 2 (0.8670 и 0.8623 соответственно). Значительно лучшим начальным приближением оказалось

$$R_0 = A(D - A)^{-1}. \quad (8)$$

Именно оно использовалось в дальнейших вычислениях.

Расчет начальных вероятностей микросостояний. При известном R векторы $\{\gamma_j\}, j = \overline{0, n}$, находим путем решения системы уравнений глобального баланса для микросостояний соответствующих ярусов, дополненной условием баланса заявок:

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^{n+1} (n-j)\gamma_j 1_j &= n - \frac{b}{a}, \\ \gamma_0 D_0 &= \gamma_1 B_1, \\ \gamma_j D_j &= \gamma_{j-1} A_{j-1} + \gamma_{j+1} B_{j+1}, \quad j = \overline{0, n}, \\ \gamma_n D_n &= \gamma_{n-1} A_{n-1} + \gamma_n R B_{n+1}. \end{aligned} \quad (9)$$

В последнем из этих уравнений использовано равенство $\gamma_{n+1} = \gamma_n R$. Практически эту систему перед решением необходимо «расписать» по компонентам упомянутых в ней векторов. Размер системы для модели $M/H_2/n$ составит

$$N = \sum_{j=0}^n (j+1) = (n+1)(n+2)/2.$$

Следовательно, трудоемкость расчета по Гауссу этого этапа имеет порядок $O(n^6)$. Кроме того, при большом числе каналов разброс модулей компонент решения превышает десять порядков, что в конечном итоге вследствие накопления ошибок приводит к отрицательным вероятностям состояний начальных ярусов.

Решая систему уравнений (9), находим компоненты вектора γ_n для $j = \overline{0, n}$. Последующие $\{\gamma_j\}$ можно получить как члены МГП согласно выражению (2).

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ

Все расчеты были запрограммированы на современном Фортране [14, 15].

Отметим, что Фортран есть единственная популярная система программирования, содержащая необходимые для реализации численных методов теории очередей *встроенные средства работы с комплексными переменными*. В [15] имеется упоминание о том, что Интел-Фортран допускает счет в формате REAL*16 (соответственно COMPLEX*32). Ниже приводятся минимальные сведения, необходимые для работы с системой Интел-Фортран в рамках консольного приложения с увеличенной разрядностью.

Входной язык основан на Фортране-2003 с некоторыми ограничениями: Например, отсутствуют операторы EQUIVALENCE, BLOCK DATA, NAMELIST.

Существуют 32- и 64-разрядные (применительно к процессору) версии системы, встроенный Array Visualizer, а также возможна работа с библиотекой математических подпрограмм IMSL. Кроме того, имеется возможность в описании проекта задать пользовательские библиотеки вставок и объектных модулей.

Укажем форматы и диапазоны (по модулю) вещественных данных (табл. 2).

Таблица 2

Форматы и диапазоны

Формат	Min	Max	Знаков мантииссы
REAL*4	1.18e-38	3.40e38	7
REAL*8	2.23d-308	1.80d308	16
REAL*16	6.47q-4966	1.19q4932	33

Для комплексных объектов требуемое число байтов удваивается. Для анализа зависимости времени вычислений от их точности в рамках применения Интел-Фортрана был проведен вычислительный эксперимент. Использовались ПЭВМ на базе процессоров Intel Pentium CPU G3450 3.40 GHz (тип 1) и AMD Phenom(tm) II X2 545 Processor 3.00 GHz (тип 2). В ходе эксперимента оценивалось время выполнения операций сложения, умножения и деления для вещественных и комплексных чисел двойной и учетверенной точности. Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Таблица 3

Быстродействие процессоров при решении задач в среде Intel Fortran, нс

Математическая операция	Тип процессора			
	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2
	Real*8		Real*16	
Сложение	0.29	1.99	1.32	2.24
Умножение	0.68	2.63	2.89	7.40
Деление	1.69	4.10	9.46	25.11
	Complex*16		Complex*32	
Сложение	2.52	5.2416	33.39	51.23
Умножение	6.15	8.0496	75.278	102.28
Деление	17.71	24.05	138.51	213.45

Методика проведения эксперимента заключалась в измерении времени выполнения 10^9 операций сложения, умножения и деления над операндами упомянутых типов. Для исключения из результата оценивания быстродействия процессора временных затрат на выполнение команд условного перехода отдельно замерялось время «пустого» цикла. После вычитания из общего времени выполнения программы времени «пустого» цикла полученный результат делился на 10^9 выполненных команд.

Отметим, что на время выполнения машинной операции существенное влияние оказывает способ адресации операндов в командах. Если один операнд (один из нескольких операндов) находится в регистре общего назначения, а другой (другие) – в оперативной памяти, то операция выполняется примерно на порядок быстрее, чем в случае, когда обе группы операндов размещены в памяти. Это обстоятельство следует учитывать при программировании расчетов, требующих значительного количества вычислительных операций.

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Обсчитывались модели $M/E_3/n$ с H_2 -аппроксимацией распределения времени обслуживания (комплексные параметры) и $M/H_2/n$ с коэффициентом вариации $\nu = 2.0$ (вещественные параметры, представляемые как комплексные с нулевой мнимой частью). Объекты программы в тестируемых версиях программы объявлялись с удвоенной или учетверенной точностью. Соответственно в названиях таблиц содержатся тип распределения обслуживания (E/H) и разрядность представления комплексного числа в байтах. Время счета дано по системному таймеру с разрешающей способностью порядка 0.01 с.

В табл. 4 и 5 приведены данные по трудоемкости вычисления знаменателя МГП. Прочерки указывают на расходимость итераций.

Таблица 4

Трудоемкость расчета знаменателя МГП, E16

n	Число итераций для ϵ				Время счета для ϵ			
	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}
10	15	20	-	-	0	0	-	-
20	26	32	-	-	0.016	0.016	-	-
30	35	-	-	-	0.047	-	-	-

Таблица 5

Трудоемкость расчета знаменателя МГП, E32

n	Число итераций для ϵ				Время счета для ϵ			
	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}
10	15	20	29	38	0.016	0.031	0.016	0.031
20	26	32	45	59	0.156	0.187	0.250	0.359
30	35	43	58	77	0.624	0.764	1.030	1.357
40	44	53	68	93	1.763	2.153	2.746	3.744
50	53	63	89	-	4.040	4.852	6.864	-

Следует отметить, что при 16-байтовом представлении комплексных чисел уже при $n=30$ наблюдается расходимость расчета знаменателя МГП (табл.6), при 32-байтовом – счет проходит до $n=50$ (табл.7). Время счета в указанном диапазоне для 16-байтового представления пренебрежимо мало, для 32-байтового – меняется от сотых долей секунды до единиц секунд.

Таблица 6

Трудоёмкость расчета знаменателя МГП, Н16

n	Число итераций для ϵ				Время счета для ϵ			
	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}
20	39	66	121	156	0.016	0.031	0.062	0.140
30	44	74	135	174	0.078	0.125	0.218	0.296
40	49	80	145	187	0.172	0.296	0.530	0.655
50	53	86	153	197	0.359	0.577	1.014	1.310
70	59	95	167	213	1.076	1.716	3.026	3.900
100	69	107	182	233	3.931	5.772	9.968	12.65

Таблица 7

Трудоёмкость расчета знаменателя МГП, Н32

n	Число итераций для ϵ				Время счета для ϵ			
	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-15}	10^{-20}
20	39	66	121	167	0.125	0.203	0.390	0.546
30	44	74	135	185	0.452	0.749	1.342	1.841
40	49	80	145	199	1.108	1.825	3.276	4.477
50	53	86	153	210	2.324	3.744	6.661	9.126
70	59	95	167	227	6.864	11.03	19.47	26.21
100	69	107	182	246	22.98	35.85	61.00	82.70

При H_2 -распределении обслуживания расчет происходит до 100-канальной системы. При этом число итераций для $\epsilon \geq 10^{-15}$ не зависит от разрядности счета. Время счета при 32-байтовом представлении больше в сравнении с 16-байтовым примерно в 7 раз.

В табл. 8 приведена динамика E -невязок при $n = 40$, начиная с 25-го шага.

Таблица 8

Динамика E -невязок при расчете знаменателя МГП, $n=40$

iter	Невязки		iter	Невязки		iter	Невязки		iter	Невязки	
	*16	*32		*16	*32		*16	*32		*16	*32
25	3.47e-0	3.47e-0	36	2.03e-3	5.77e-4	47	2.75e-3	7.13e-8	58	4.37e-3	8.17e-12
26	1.64e-0	1.64e-0	37	1.03e-3	2.55e-4	48	1.82e-3	3.14e-8	59	4.57e-3	3.52e-12
27	7.69e-1	7.68e-1	38	1.08e-3	1.13e-4	49	9.03e-4	1.38e-8	60	4.41e-3	1.51e-12
28	3.56e-1	3.54e-1	39	2.08e-3	4.98e-5	50	4.02e-4	6.09e-9	61	3.92e-3	6.37e-13
29	1.64e-1	1.62e-1	40	3.18e-3	2.20e-5	51	9.59e-4	2.68e-9	62	3.20e-3	2.65e-13
30	7.56e-2	7.34e-2	41	4.15e-3	9.71e-6	52	1.57e-3	1.18e-9	63	2.47e-3	1.07e-13
31	3.56e-2	3.30e-2	42	4.79e-3	4.28e-6	53	2.09e-3	5.17e-10	64	1.96e-3	4.18e-14
32	1.75e-2	1.48e-2	43	5.05e-3	1.89e-6	54	2.53e-3	2.27e-10	65	1.85e-3	1.51e-14
33	9.37e-3	6.60e-3	44	4.90e-3	8.33e-7	55	2.94e-3	9.92e-11	66	2.12e-3	4.75e-15
34	5.53e-3	2.94e-3	45	4.37e-3	3.67e-7	56	3.41e-3	4.33e-11	67	2.76e-3	1.20e-15
35	3.44e-3	1.30e-3	46	3.62e-3	1.62e-7	57	3.92e-3	1.89e-11	68	3.45e-3	5.48e-16

При счете в 16-байтовой сетке итерации расходятся (невязки осциллируют в диапазоне $4 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-3}$). В 32-байтовой сетке невязки монотонно убывают до $4 \cdot 10^{-16}$.

Наконец, прокомментируем опыт расчета начальных вероятностей состояний (табл. 9). Данные по времени счета приводятся для тех моделей, где сошелся расчет знаменателя

МГП. При эрланговом обслуживании для сопоставимых исходных данных итерационный счет в 32-байтовой сетке длительнее примерно втрое.

Таблица 9

Трудоёмкость расчета начальных вероятностей

Распределение обслуживания	Разрядность CPLX чисел	Число каналов					
		10	20	30	40	50	70
E_3	16	0	0.250	2.075	-	-	-
	32	0.016	0.686	7.332	35.30	132.37*	-
H_2	16		0.140	1.810	11.50	42.95*	355.6*
	32	0.640	6.599	34.88	131.42	977.3	-

* Варианты с отрицательными вероятностями.

При H_2 -обслуживании время 32-байтового счета втрое и более превышает время 16-байтового. Расчет 70-канальной системы был прерван на этапе расчета начальных вероятностей по истечении 14 часов (!) процессорного времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод МГП является одним из основных инструментов обсчета многоканальных систем обслуживания. Но здесь уже давно наметился «кризис жанра». П. Швейцер [16, с. 418] еще в 1984 году в дискуссии на конференции по расчету характеристик вычислительных систем сказал: «Мы затратили слишком много времени на такие модели, как "product-form" сети и матрично-геометрические решения». Отметим, что МГП *принципиально* применим только к QBD (quasi birth and death) процессам – с переходами между смежными ярусами диаграммы. Подавляющее большинство зарубежных и отечественных работ по МГП ориентировано на *одноканальный* случай. В данной работе это ограничение снимается.

Цель написания статьи состоит не в сравнении МГП с другими методами расчета многоканальных фазовых СМО, а в исследовании возможности расширения области его применения при переходе к расширенной разрядной сетке. В этом смысле ее результаты сводятся к следующему:

1. При комплексных параметрах H_2 -аппроксимации (коэффициент вариации обслуживания меньше 0.7) переход к счету в расширенной разрядной сетке позволяет значительно повысить точность расчета знаменателя МГП – вплоть до $\varepsilon = 10^{-20}$.

Следует отметить, что для практически достаточного $\varepsilon = 10^{-6}$ предельные возможности расчета увеличиваются с 30 до 50 каналов. Для сопоставимых исходных данных (30 каналов) время счета возрастает в 90 раз.

2. Повышение требований по точности в случае вещественных параметров на возможности расчета знаменателя МГП практически не влияет, но увеличивает время счета в 6-7 раз.

3. Для расчета «начальных» векторов вероятностей микросостояний повышение точности заметно уменьшает риск получения отрицательных начальных вероятностей. При этом время счета возрастает в десятки раз. По-видимому, этот этап расчета при большом числе каналов является основным ограничивающим фактором. Есть основания надеяться, что данное затруднение может быть устранено переходом к *итерационному* расчету начальных векторов. Можно предполагать, что указанные выше ограничения для задач с комплексными параметрами будут ужесточены при уменьшении коэффициента вариации распределения длительности обслуживания.

4. С более общей точки зрения приведенные результаты иллюстрируют реальные возможности существенного повышения точности расчетов в различных областях точных

наук, а с другой стороны, показывают цену, которую придется за это платить. Они указывают предельные возможности обсчета современных многоканальных систем и сетей обслуживания – в том числе военного назначения.

Список используемых источников

1. Рыжиков Ю.И. Развитие и сопоставление методов расчета многоканальных систем обслуживания // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 5208–5219.
2. Яшков С.Ф. Столетие теории очередей: предисловие к тематическому выпуску // Автоматика и телемеханика. – 2009. – №12. – С. 3–8.
3. Shin Y.W., Moon D.H. Sensitivity and Approximation of M/G/c Queue: Numerical Experiments // 8-th Internat. Symp. on Operational Research and Its Applications. – China. – 2009. – P. 140–147.
4. Рыжиков Ю.И. Алгоритм расчета многоканальной системы с эрланговским обслуживанием // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 5. – С. 30–37.
5. Рыжиков Ю.И., Хомоненко А.Д. Итеративный метод расчета многоканальных систем с произвольным распределением времени обслуживания // Проблемы управления и теории информации. – 1980. – № 3. – С. 32–38.
6. Neuts M. F. Matrix-Analytic Methods in the Queueing Theory // Eur. J. of the Operational Research. – 1984. – Vol. 5. – P. 2–12.
7. Рыжиков Ю.И. Алгоритмический подход к задачам массового обслуживания: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 496 с.
8. Evans R.D. Geometric Distribution in Some Two Dimensional Queuing Systems // Operations Research. – 1967. – Vol. 15, № 5. – P. 830–846.
9. Takahashi Y., Takami Y. A Numerical Method for the Steady-state Probabilities of a GI/G/c Queueing System in a General Class // J. of the Operat. Res. Soc. of Japan. – 1976. – Vol. 19, № 2. – P. 147–157.
10. Evans R.D. Geometric Distribution in Some Two Dimensional Queuing Systems // Operations Research. – 1967. – Vol. 15, № 5. – P. 830–846.
11. Daigle J.N. Queuing Theory with Applications to Packet Telecommunication. – Boston: Springer, 2005. – 326 p.
12. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания: учебник. – М.: Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.
13. Takahashi Y. Asymptotic Exponentiality of the Tail of the Waiting Time Distribution in a Ph/Ph/c Queue // Adv. in Applied Probability. – 1981. – Vol. 13. – P. 619–630.
14. Рыжиков Ю.И. Современный Фортран: учебник. – СПб.: КОРОНА-принт, 2004. – 288 с.
15. Немнюгин М.А., Стесик О.Л. Современный Фортран: самоучитель. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.
16. Mathematic Computer Performance and Reliability // Proc. of the International Workshop, Piza, 1983. – Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1984. – 429 p.

Я.А. Скороходов,
кандидат техн. наук

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ВЕРОЯТНОСТНОЙ СТРУКТУРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИК «ПРЕВЫШЕНИЙ УРОВНЕЙ»

В статье предлагается алгоритм формирования решающих правил классификации телеметрической информации по вероятностной структуре, отличающийся от других тем, что введены новые информативные признаки классов для распознавания (процессов с законами распределений, образующих смесь) в виде многомерных векторов, компонентами которых являются статистики выбросов траекторий случайных процессов, а также тем, что плотность вероятности статистики отношения правдоподобия вычисляется с использованием характеристических функций и преобразований Фурье. Все это обеспечивает более точные значения вероятностей ошибочных решений по сравнению с грубо вычисленными вероятностями ошибок, если аппроксимировать плотность вероятности статистики отношения правдоподобия нормальным распределением.

Ключевые слова: принятие статистических решений, статистические критерии, критерий Неймана – Пирсона, телеметрическая информация, оперативная обработка информации, статистическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ космической деятельности РФ показал, что существует устойчивая тенденция увеличения интенсивности запусков космических аппаратов за последние 10 лет. При этом сокращаются сроки на подготовку отчетов о результатах летных испытаний, а в случае аварийного пуска дальнейший ход выполнения космической программы зависит от времени, необходимого для выявления истинных причин неисправностей и поиска отказов. Все это приводит к необходимости повышения оперативности доведения заключений о результатах летно-конструкторских испытаний ракет космического назначения при заданном уровне достоверности.

Перспективные автоматизированные комплексы обработки телеметрической информации (ТМИ) в системе информационно-телеметрического обеспечения предстартовой подготовки и пуска позволяют производить автоматизированную обработку измерительной информации и мониторинг технического состояния ракет-носителей (РН) и разгонных блоков (РБ) в реальном масштабе времени с использованием моделей и методов интеллектуального анализа. Однако применение на практике подобных систем невозможно без соблюдения определенных требований к исходной информации, которые обусловлены формализованными правилами получения оценок летно-технических характеристик и заключений о состоянии анализируемых систем.

Практика обработки телеметрической информации ракет-носителей и разгонных блоков показывает, что использование результатов первичной обработки в качестве исходных данных в системах автоматизированного анализа может приводить к неправильным заключениям о техническом состоянии и недостоверным оценкам летно-технических характеристик. Например, – к некорректным оценкам энергомассовых характеристик ракеты-носителя на участке максимальных скоростных напоров при использовании для расчетов результатов обработки информации, полученной с датчика осевой перегрузки (ОП), что влечет за собой ошибки при принятии решений в условиях жестких временных ограничений (рис. 1). В основном это связано с «неоднородностью» и трудностью формализации обработки ТМИ РН и РБ [1].

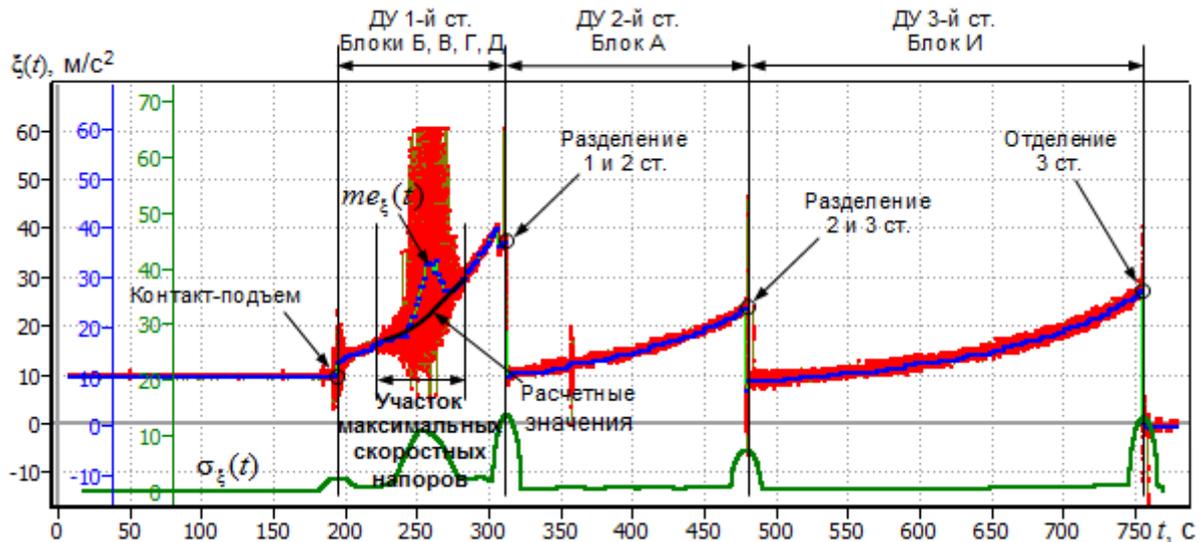


Рис. 1. Некорректные оценки энергомассовых характеристик РН, полученные на участке максимальных скоростных напоров

В общей классификации неоднородностей ТМИ можно выделить структурно-временную неоднородность, которая проявляется как нелинейные трансформации вероятностной структуры анализируемых процессов по причине наличия возмущающих воздействий и дестабилизирующих факторов.

Статистический анализ ТМИ отечественных и зарубежных ракет космического назначения и межконтинентальных баллистических ракет показал, что нелинейные преобразования телеметрической информации могут быть обусловлены: некорректной настройкой датчико-преобразующей аппаратуры (типичным примером является параметр осевой перегрузки ракет-носителей «Союз-2» на участке максимальных скоростных напоров), нештатными условиями функционирования при воздействии дестабилизирующих факторов на объект контроля, а также конструктивными особенностями отдельных бортовых систем (например, параметр кажущегося ускорения баллистических ракет на подводных лодках «Трайидент-2» на участке полета автономного блока разведения).

В перечисленных случаях оценки плотности вероятностей имеют ярко выраженный несимметричный характер, при этом спектральный состав телеметрируемых процессов достаточно различается. Это позволяет использовать оценки характеристик (тип и интервал времени) нелинейных преобразований ТМП для фиксации факта и времени нарушения штатного поведения контролируемых систем. Таким образом, для автоматизации обработки информации со структурно-временной неоднородностью необходимы формальные алгоритмы, позволяющие оценивать характеристики нелинейных преобразований, инвариантные к спектральным свойствам телеметрической информации.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ВЕРОЯТНОСТНОЙ СТРУКТУРЕ

Математическая постановка задачи классификации телеметрируемых процессов по вероятностной структуре может быть представлена в виде коммутативной диаграммы, изображенной на рис. 2.

Исходные данные:

1. Реализация $\xi_{<n>}$ случайного процесса $\{\xi(t)\}$.
2. Множество $\mathbf{X}_{<l>}$ информативных признаков и функция $f: \xi_{<n>} \rightarrow \mathbf{X}_{<l>}$ измерения.

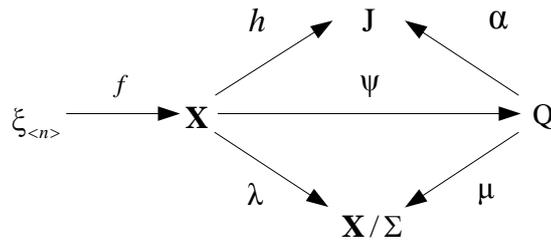


Рис. 2. Диаграмма процесса обработки ТМИ

Ограничения:

1. Выборка $\xi_{<n>}$ конечна $n < \infty$.
2. Процесс имеет конечную дисперсию $R_{\xi}(0) = \sigma_{\xi}^2 < \infty$.
3. Процесс является двукратно дифференцируемым $R_{\xi}^{(4)}(0) < \infty$ на интервале обработки.

Найти:

1. Отображение $h: \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{J}$, ставящее в соответствие вектору признаков $\mathbf{X}_{<l>}$ решение $k \in \mathbf{J}$ о вероятностном распределении выборки $\xi_{<n>}$ с учетом ошибок при классификации, где $\mathbf{J} = \{1, 2, \dots, m\}$ – индексное множество. Согласно теореме о гомоморфизме множеств должны выполняться условия:

$$h = \psi\alpha \text{ и } \lambda = \psi\mu,$$

где ψ – отображение, ставящее в соответствие вектору признаков $\mathbf{X}_{<l>}$ модель распределения ТМП (класс) $q \in \mathbf{Q}$, $\psi: \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Q}$;

α – отображение, ставящее в соответствие модельному распределению его номер, $\alpha: \mathbf{Q} \rightarrow \mathbf{J}$;

λ – отображение факторизации $\lambda: \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{X}/\Sigma$, т.е. разбиения множества \mathbf{X} на классы эквивалентности

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{X}_i \mid \mathbf{X}_i \neq \emptyset, \mathbf{X}_1 \cup \dots \cup \mathbf{X}_m = \mathbf{X}, \mathbf{X}_i \cap \mathbf{X}_j = \emptyset, i, j \in \mathbf{J}, i \neq j\};$$

μ – взаимно однозначное отображение между фактор-множеством и множеством классов распознавания, $\mu: \mathbf{Q} \rightarrow \mathbf{X}/\Sigma$.

Критерий разделимости должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Монотонная связь с вероятностью ошибки.
2. Инвариантность относительно линейных преобразований.
3. Аддитивность по отношению к признакам: $r(q_i, q_j : \mathbf{X}_{<l>}) = \sum_{s=1}^l r(q_i, q_j : x_s)$.
4. Метрические свойства:
 - 1) $r(q_i, q_j : \mathbf{X}_{<l>}) > 0$ при $i \neq j$;
 - 2) $r(q_i, q_i : \mathbf{X}_{<l>}) = 0$;
 - 3) $r(q_i, q_j : \mathbf{X}_{<l>}) = r(q_j, q_i : \mathbf{X}_{<l>})$;
 - 4) $r(q_i, q_i : \mathbf{X}_{<l>}) \leq r(q_i, q_i : \mathbf{X}_{<l+1>})$.

С учетом введенных обозначений получаем:

$$\forall k \in \mathbf{J}, \mathbf{X}_k \in \mathbf{X}, h(\mathbf{X}_k) = k.$$

Таким образом, необходимо решить задачу сатисфакционного выбора отображения h из множества допустимых отображений (статистик) \mathbf{H} , характеризуемых показателем качества $\mathbf{E} = \langle D, T \rangle$:

$$\mathbf{H}_d \xrightarrow{\mathbf{E}} h, \tag{1}$$

учитывая критерий пригодности

$$\mathbf{G} : (D \geq p_{\text{пр}} \cap T \leq t_{\text{пр}}) \sim U, \tag{2}$$

- где D – показатель достоверности, характеризующий вероятность правильного принятия решения о принадлежности выборки к одному из заданных классов;
- T – показатель оперативности, характеризующий быстродействие системы или зависимость времени выполнения программ от объема обрабатываемой ТМИ, он ограничен временем принятия решения о ТС объекта;
- $P_{\text{пр}}$ – минимально допустимая вероятность правильного решения;
- $t_{\text{пр}}$ – максимально допустимое значение времени преобразования данных;
- U – достоверное событие (истинное высказывание).

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ СИНТЕЗА РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИК ВЫБРОСОВ

Систематизация результатов статистического анализа позволила представить модель ТМИ со структурно-временной неоднородностью «смесью» процессов первого класса [8]:

$$p(\xi) \approx \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(\xi); \quad (3)$$

$$p_i(\xi) | p_i(\xi, \dot{\xi}, t) = p_i(\xi, t) p_i(\dot{\xi}, t), \quad p_i(\dot{\xi}, t) = (2\pi\sigma_{\xi}^2)^{-1/2} \exp(-\dot{\xi}^2 / 2\sigma_{\xi}^2);$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

Вектор $\mathbf{X}_{\langle l \rangle}$ информативных признаков рассматриваемых классов (законов распределений, образующих смесь) – многомерная случайная величина, компонентами которой являются характеристики «превышений уровней» или характеристики выбросов [10].

Критерий разделимости и признаковое пространство рассмотрены в работе [3], при этом показано, что для принятия решения о законе распределения ТМП с заданной степенью уверенности достаточно двух относительных уровней H_i/σ_{ξ} , $i = 1, 2$. Разделяющие поверхности определяются с использованием классификатора Неймана – Пирсона. В работе в качестве компонент вектора $\mathbf{X}_{\langle l \rangle}$ рассматриваются:

1) $x_i = N^+(H_i/\sigma_{\xi}, 1)/\sigma_{\xi}$ – среднее количество положительных пересечений траекторий $\xi(t)$, $t \in [t_0, t_0 + T]$ процесса относительных уровней H_i/σ_{ξ} , умноженное на коэффициент $1/\sigma_{\xi}$, для обеспечения независимости к спектральным свойствам ТМИ, где $\sigma_{\xi} = \sqrt{-r_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}}$ – среднеквадратическое отклонение производной процесса или второй спектральный момент;

2) $x_i = T^+(H_i/\sigma_{\xi})$ – относительная длительность пребывания траектории $\xi(t)$, $t \in [t_0, t_0 + T]$ процесса над относительным уровнем H_i/σ_{ξ} .

Разработанный алгоритм является достаточно общим и может применяться для формирования решающих правил с использованием различных характеристик «превышений», в частности характеристик пересечений уровней и длительностей временных интервалов. Основными этапами алгоритма являются (рис. 3):

1. Оценивание вероятностных характеристик случайной величины $\mathbf{X} = (x_1, x_2)^T$ классов ω_k, ω_s , $k, s = \overline{1, m}$, $k \neq s$.

2. Определение отношения правдоподобия $l(\mathbf{X}) = \frac{p(\mathbf{X}/\omega_k)}{p(\mathbf{X}/\omega_{k+1})}$.

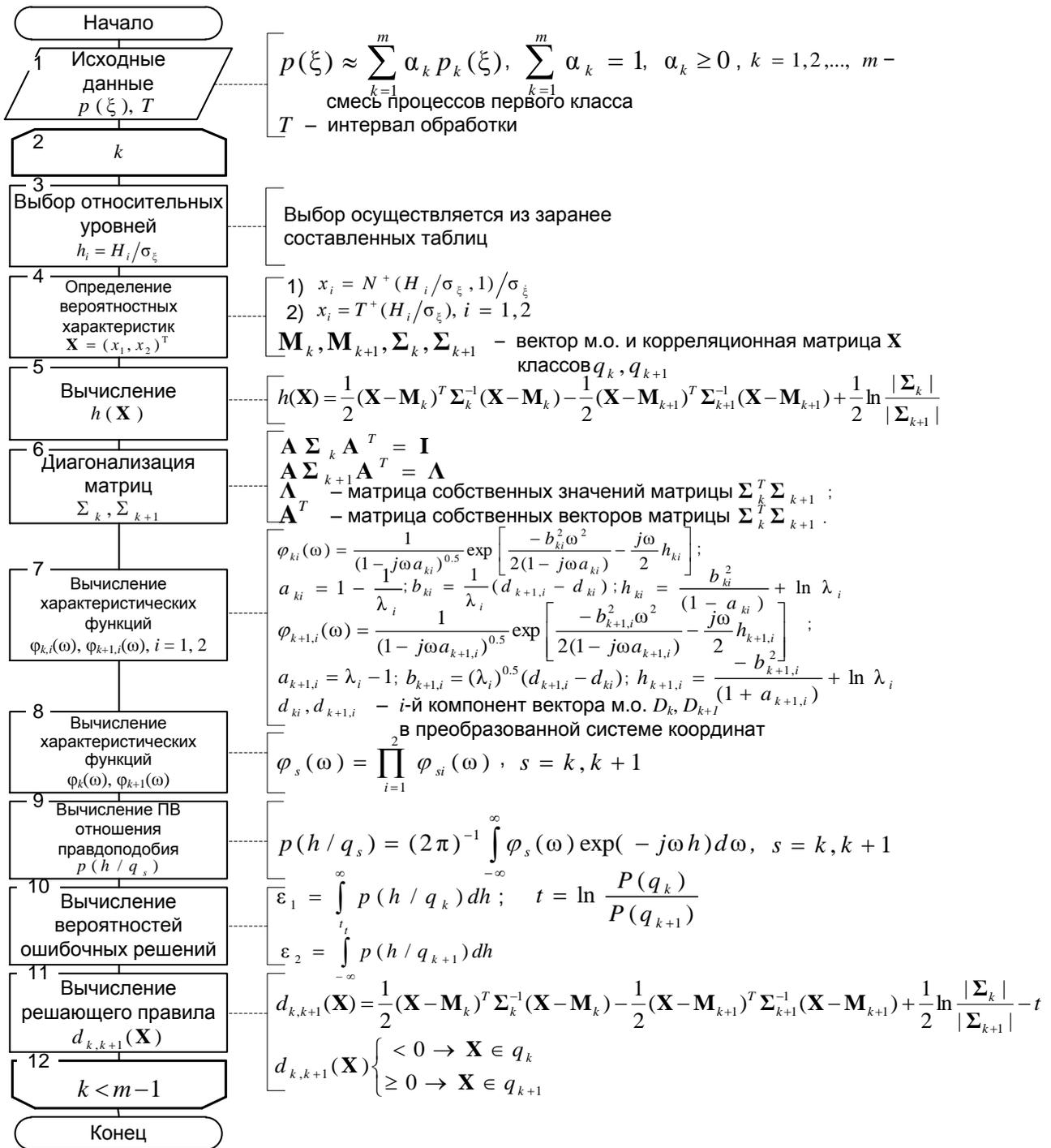


Рис. 3. Схема алгоритма формирования решающих правил классификации телеметрируемых процессов по вероятностной структуре

3. Оценивание вероятности ошибки решения ε .

Шаг 1. Зададим исходные данные для построения решающих правил: модель информационного процесса (смесь распределений процессов первого класса) и интервал обработки T , по результатам оценивания информативных признаков на котором принимается решение, к какому из представленных законов распределений (классов для распознавания $\omega_k, k = \overline{1, m}$) в смеси (3) относится выборка.

Шаг 2. Начинаем цикл по k .

Шаг 3. Произведем выбор относительных уровней $h_i = H_i/\sigma_\xi, i=1,2$ по заранее составленным таблицам для заданной модели телеметрируемого процесса [4].

Шаг 4. Получим значения элементов вектора математических ожиданий $\mathbf{M}_k, \mathbf{M}_{k+1}$ и корреляционной матрицы Σ_k, Σ_{k+1} . Поскольку распределение оценок $\hat{N}^+(H, 1)_T$ и $\hat{T}^+(H_1/\sigma_\xi)_T$ является асимптотически нормальным [5], то векторы математических ожиданий $\mathbf{M}_k, \mathbf{M}_{k+1}$ и корреляционные матрицы Σ_k, Σ_{k+1} полностью задают плотности вероятности $p(\mathbf{X}/\omega_k), p(\mathbf{X}/\omega_{k+1})$ распределений информативных признаков $\mathbf{X} = (x_1, x_2)^T$ классов ω_k, ω_{k+1} . Для их определения использовались как известные асимптотические выражения [5, 9], так и результаты численного моделирования случайных процессов с заданными вероятностными распределениями в случаях, когда аналитически рассчитать статистические характеристики выбросов является трудноразрешимой задачей [5, 9, 10].

Шаг 5. Определим логарифм отношения правдоподобия $h(\mathbf{X}) = -\ln l(\mathbf{X})$. Выражение для нахождения $h(\mathbf{X})$, если $p(\mathbf{X}/\omega_s)$ – нормальная плотность вероятности с вектором математического ожидания \mathbf{M}_s и ковариационной матрицей $\Sigma_s, s = k, k+1$ – имеет вид [6, 7]

$$h(\mathbf{X}) = \frac{1}{2}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_k)^T \Sigma_k^{-1}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_k) - \frac{1}{2}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_{k+1})^T \Sigma_{k+1}^{-1}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_{k+1}) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma_k|}{|\Sigma_{k+1}|}. \quad (4)$$

Решающее правило записывается следующим образом:

$$h(\mathbf{X}) \begin{cases} < t \rightarrow \mathbf{X} \in \omega_k \\ \geq t \rightarrow \mathbf{X} \in \omega_{k+1} \end{cases}, \quad (5)$$

где t – логарифм пороговой величины $\mu = P(\omega_k)/P(\omega_{k+1})$ отношения правдоподобия для данного решающего правила, $t = \ln[P(\omega_k)/P(\omega_{k+1})]$.

Учитывая, что априорные вероятности $P(\omega_s), s = k, k+1$ являются неизвестными, а вероятность ошибки первого рода ε_1 (вероятности отнесения \mathbf{X} к классу ω_{k+1} , когда на самом деле \mathbf{X} принадлежит классу ω_k) в соответствии с критерием Неймана – Пирсона не должна превосходить значения α . Минимум общей вероятности ошибки достигается, если выполняется равенство

$$\varepsilon_1 = \int_{\{\Gamma: \mathbf{X} \in \omega_{k+1}\}} p(\mathbf{X}/\omega_k) d\mathbf{X} = \alpha.$$

Вычисление вероятности ошибочного решения сводится к интегрированию плотности распределения в многомерном пространстве. В этом случае удобнее вместо интегрирования плотностей вероятностей в многомерном пространстве перейти к интегрированию отношений правдоподобия. Использование отношения правдоподобия приводит к редукции наблюдаемых данных – отображению выборочного многомерного пространства на действительную положительную полуось, при этом целесообразно применить логарифмирование. Таким образом, уравнение для нахождения порога t имеет вид

$$\varepsilon_1 = \int_t^\infty p(h/\omega_k) dh = \alpha. \quad (6)$$

Для оценивания вероятности ошибки решения выполним следующие шаги [7].

Шаг 6. Приведем ковариационные матрицы Σ_k, Σ_{k+1} к диагональному виду. Это преобразование можно выполнить, используя следующие выражения:

$$\mathbf{A}\Sigma_k\mathbf{A}^T = \mathbf{I}, \quad (7)$$

$$\mathbf{A}\Sigma_{k+1}\mathbf{A}^T = \Lambda, \quad (8)$$

где $\mathbf{A}, \mathbf{\Lambda}$ – матрицы собственных векторов и собственных значений матрицы $\Sigma_k^{-1} \Sigma_{k+1}$.

Шаг 7. Для классов ω_k и ω_{k+1} вычислим характеристические функции решающего правила

$h(x_i) = -\ln \frac{p(x_i / \omega_k)}{p(x_i / \omega_{k+1})}$, $i = 1, 2$ по следующим выражениям:

$$\varphi_{ki}(\omega) = \frac{1}{(1 - j\omega a_{ki})^{0.5}} \exp \left[\frac{-b_{ki}^2 \omega^2}{2(1 - j\omega a_{ki})} - \frac{j\omega}{2} h_{ki} \right], \quad (9)$$

где

$$a_{ki} = 1 - \frac{1}{\lambda_i}; \quad b_{ki} = \frac{1}{\lambda_i} (d_{k+1,i} - d_{ki}); \quad h_{ki} = \frac{b_{ki}^2}{(1 - a_{ki})} + \ln \lambda_i,$$

где $d_{ki}, d_{k+1,i}$ – i -й компонент вектора математического ожидания $\mathbf{D}_k, \mathbf{D}_{k+1}$ соответственно в преобразованной системе координат;

λ_i – элемент матрицы собственных значений матрицы $\Sigma_k^{-1} \Sigma_{k+1}$;

$$\varphi_{k+1,i}(\omega) = \frac{1}{(1 - j\omega a_{k+1,i})^{0.5}} \exp \left[\frac{-b_{k+1,i}^2 \omega^2}{2(1 - j\omega a_{k+1,i})} - \frac{j\omega}{2} h_{k+1,i} \right], \quad (10)$$

где

$$a_{k+1,i} = \lambda_i - 1, \quad b_{k+1,i} = (\lambda_i)^{0.5} (d_{k+1,i} - d_{ki}), \quad h_{k+1,i} = \frac{-b_{k+1,i}^2}{(1 + a_{k+1,i})} + \ln \lambda_i.$$

Шаг 8. Определим характеристические функции $\varphi_s(\omega)$ решающего правила $h(\mathbf{X}), \mathbf{X} \in \omega_s, s = k, k + 1$. В силу того, что компоненты вектора \mathbf{X} являются некоррелированными, а для нормального закона это значит независимыми, вычислим характеристические функции $\varphi_s(\omega)$ решающего правила $h(\mathbf{X}), \mathbf{X} \in \omega_s$ как произведение характеристических функций $\varphi_s(\omega)$ решающих правил $h(x_i), x_i \in \omega_s$:

$$\varphi_s(\omega) = \prod_{i=1}^n \varphi_{si}(\omega), \quad s = k, k + 1. \quad (11)$$

Шаг 9. Вычислим плотность вероятности решающего правила $h(\mathbf{X})$ путем обратного преобразования Фурье:

$$p(h/\omega_s) = (2\pi)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_s(\omega) \exp(-j\omega h) d\omega, \quad s = k, k + 1. \quad (12)$$

Шаг 10. Определим вероятности ошибки с помощью численного интегрирования по формулам:

$$\varepsilon_1 = \int_t^{\infty} p(h/\omega_k) dh; \quad (13)$$

$$\varepsilon_2 = \int_{-\infty}^t p(h/\omega_{k+1}) dh, \quad (14)$$

где $t = \ln \frac{P(\omega_k)}{P(\omega_{k+1})}$.

Так как плотность вероятности $p(h/\omega_k)$ положительна по определению, то вероятность ошибки ε_1 является монотонной функцией относительно t , т.е. когда порог t увеличивается, вероятность ошибки ε_1 уменьшается. После вычисления значений ε_1 для нескольких значений t можно найти такое t , которому соответствует значение ε_1 , равное α .

Шаг 11. Запишем окончательно выражение для решающего правила

$$h(\mathbf{X}) = \frac{1}{2}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_k)^T \Sigma_k^{-1} (\mathbf{X} - \mathbf{M}_k) - \frac{1}{2}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_{k+1})^T \Sigma_{k+1}^{-1} (\mathbf{X} - \mathbf{M}_{k+1}) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma_k|}{|\Sigma_{k+1}|} - \ln \mu \begin{cases} < 0 \rightarrow \mathbf{X} \in \omega_k \\ \geq 0 \rightarrow \mathbf{X} \in \omega_{k+1} \end{cases} \quad (15)$$

Шаг 12. Проверим условие $k < m - 1$. Если условие выполняется, то переходим к шагу 3, если нет, то закончим выполнение алгоритма.

Синтезированные решающие правила выступают в качестве исходных данных в алгоритмах оценивания характеристик (тип и интервал времени) нелинейных преобразований ТМИ. В данных алгоритмах для принятия решения о законе распределения ТМП производится подсчет числа пересечений или числа превышений заданных уровней по выборке ТМП, тем самым обеспечиваются простота реализации и низкие вычислительные затраты, что позволяет их применять в системах оперативной обработки ТМИ РН и РБ на активном участке траектории в режиме «мягкого» реального времени [2].

ВЕРИФИКАЦИЯ И АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ

Полученные оценки вероятностных характеристик статистик выбросов (на примере статистик длительностей временных интервалов) в виде эллипсов постоянной плотности и границы Неймана – Пирсона для заданных значений уровня значимости изображены на рис. 4.

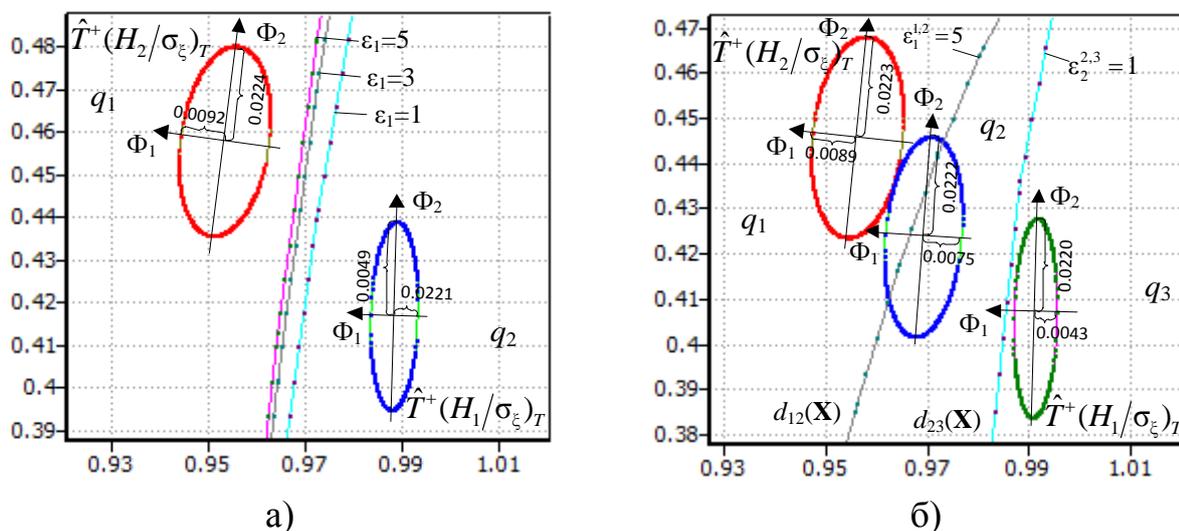


Рис. 4. Эллипсы постоянного махаланобисова расстояния и границы Неймана – Пирсона при различных значениях ошибки ε_1 :

а – смесь гауссовского процесса и χ -процесса с $n=2$;

б – смесь гауссовского процесса, χ -процессов с $n=5$ и $n=2$

Проведенный сравнительный анализ между вычисленными значениями вероятностей ошибки на основе предложенного алгоритма и приближенными расчетами с использованием аппроксимации статистики отношения правдоподобия нормальным распределением показал, что грубая оценка может превышать точное значение от 2 до 7 раз. Это обусловлено тем, что собственные значения λ_1 и λ_2 случайной величины \mathbf{X} достаточно различаются между собой, а кривые плотности вероятности отклоняются от кривой плотности нормального распределения, особенно при малых объемах выборки (рис. 5).

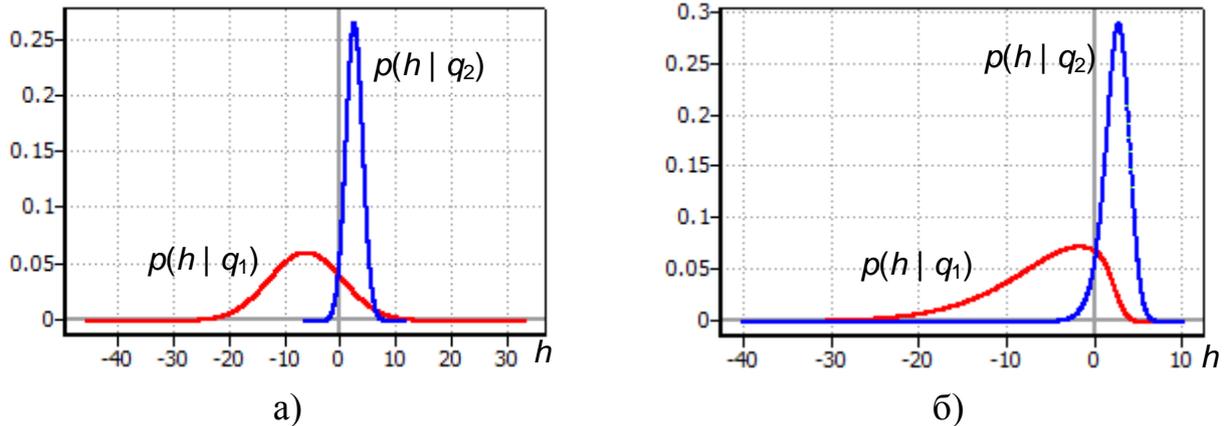


Рис. 5. Плотности вероятности решающего правила $h(\mathbf{X})$ при $T=100$: а – аппроксимация нормальным распределением; б – точное вычисление

Определены зависимости вероятностей ошибочных решений от объема выборки, которые позволяют производить оценку достоверности разработанных алгоритмов обработки информации и наоборот – оценить объем выборки для заданного значения достоверности обработки.

Результаты статистического моделирования подтверждают правильность формирования решающих правил. Значения вероятностей ошибочных решений, рассчитанные теоретическим путем и полученные численно, различаются не более чем на 2%. Погрешность обусловлена случайными колебаниями в выборке и дискретным представлением функций распределения отношений правдоподобия в памяти электронно-вычислительной машины.

В качестве экспериментальных исходных данных использовалась ТМИ, полученная в ходе проведения летно-конструкторских испытаний ракет-носителей «Союз-2» и «Союз-СТ» на 1-м Государственном испытательном космодроме и в Гвианском космическом центре в период с 2011 по 2015 год.

Алгоритмы оценивания нелинейных преобразований, использующие полученные решающие правила, позволяют разделять случайные процессы по вероятностным характеристикам и выделять интервалы времени, на которых телеметрическая информация подвергается нелинейным преобразованиям. Результаты применения алгоритма на ТМП ОП в пуске РН 14А14 с разгонным блоком 14С44 и космическим аппаратом 14Ф113 02.10.2011 представлены на рис. 6.

На рисунке видно, что на участке максимальных скоростных напоров решающая функция принимает значение, равное 1, что говорит о наличии нелинейного преобразования параметра и соответствует результатам статистического анализа. Алгоритм выделяет интервал времени, на котором расчетное значение не совпадает с результатами медианной фильтрации, при этом достоверность полученных результатов равна 96% при объеме выборки 300 значений. Полученные оценки могут использоваться для формирования степени доверия к поступающей ТМИ и, соответственно, к получаемым на ее основе оценкам ЛТХ РН и РБ при оперативной обработке.

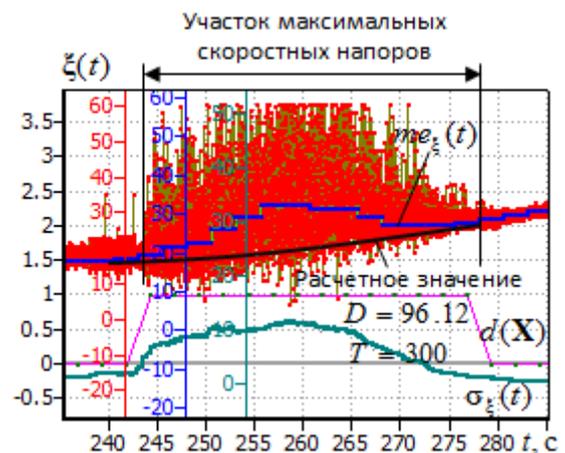


Рис. 6. Реализация ТМП ОП и значения решающей функции

Полученные при обработке экспериментальных данных результаты позволяют сделать вывод об успешном решении поставленной задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен алгоритм построения решающих правил для классификации процессов по вероятностной структуре с использованием статистик превышений уровней. В алгоритме для синтеза решающих правил классификации ТМИ используются новые информативные признаки рассматриваемых классов в виде многомерных векторов, компонентами которых являются статистики выбросов случайных процессов, а плотность вероятности отношений правдоподобия вычисляется с использованием характеристических функций и преобразований Фурье.

Алгоритм является достаточно общим и может применяться для синтеза классифицирующих правил при использовании различных характеристик «превышений», в частности характеристик пересечений уровней и длительностей временных интервалов.

Результаты статистического моделирования подтверждают правильность формирования решающих правил. Значения вероятностей ошибочных решений, рассчитанные теоретическим путем и полученные численно, различаются не более чем на 2%.

Анализ результатов применения алгоритмов на ТМИ ракет-носителей типа «Союз-2» и «Союз-СТ» позволил установить соответствие между нелинейными преобразованиями ТМИ и изменением технического состояния бортовых систем и тем самым – использовать оценки параметров (тип и интервал времени) нелинейных преобразований ТМИ для фиксации факта и времени нарушения штатного поведения объекта контроля с заданным уровнем достоверности и оперативности.

Список используемых источников

1. *Скорыходов Я.А., Каргин В.А.* Подход к классификации неоднородностей телеметрической информации ракет-носителей // *Авиакосмическое приборостроение.* – 2015. – № 4. – С. 94–103.
2. *Каргин В.А., Скорыходов Я.А., Николаев Д.А.* Оценивание вероятностных характеристик телеметрируемых процессов ракет-носителей в реальном масштабе времени // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.* – 2014. – Вып. 644. – С. 161–168.
3. *Скорыходов Я.А.* Модель процесса автоматизированной обработки телеметрической информации ракет-носителей и разгонных блоков // *Информация и космос.* – 2016. – №1 – С. 185–191.
4. *Скорыходов Я.А., Каргин В.А.* Оценивание нелинейных зависимостей при оперативной обработке телеметрической информации по статистике пересечений заданных уровней // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.* – 2015. – Вып. 646. – С. 13–23.
5. *Тихонов В.И., Хименко В.И.* Выбросы траекторий случайных процессов. – М.: Наука, 1987. – 305 с.
6. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978. – С. 152–155.
7. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов: пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
8. *Хименко В.И.* О среднем числе выбросов траектории негауссова случайного процесса над заданным уровнем // *Изв. высших учебных заведений.* – 1978. – Т. 21, № 8. – С. 1170–1176.
9. *Хименко В.И.* Статистические характеристики выбросов гауссова процесса // *Изв. высших учебных заведений.* – 1984. – Т. 27, № 3. – С. 306–312.
10. *Хименко В.И.* Характеристики типа «превышений уровней» для случайных точечных процессов // *Радиотехника и электроника.* – 2000. – № 4. – С. 436–443.

А.В. Галандзовский,

кандидат техн. наук;

А.А. Гусаров,

кандидат техн. наук;

А.В. Паршуткин,

доктор техн. наук;

М. Саидж

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ГРУППЫ ИСТОЧНИКОВ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ

Представлена аналитико-имитационная модель функционирования радиолокационной станции с адаптивной антенной решеткой в условиях воздействия группы источников непреднамеренных шумовых помех. Показаны результаты адаптации диаграммы направленности антенной решетки при изменении положения линии визирования радиолокационной цели относительно направлений на источники помех. Приведены отношения сигнал/шум на входе приемника при воздействии группы источников помех. Определены направления повышения помехоустойчивости радиолокационных станций.

Ключевые слова: модель функционирования радиолокационной станции, адаптивные антенные решетки, помехоустойчивость, непреднамеренные шумовые помехи.

ВВЕДЕНИЕ

Адаптивные антенные решетки (ААР) широко используются в современных радиолокационных станциях (РЛС) обзора пространства (ОП). При проектировании таких РЛС ОП необходимо учитывать возможное воздействие на них непреднамеренных помех. Традиционные меры повышения помехоустойчивости РЛС, основанные на пространственно-временной обработке сигналов и помех в ААР, хорошо проработаны для ситуаций воздействия ограниченного числа источников помех (ИП). Как правило, рассматривается воздействие непреднамеренных шумовых помех, формируемых мощными стационарными или мобильными передатчиками [1, 2].

Однако за последнее десятилетие наметилась тенденция к массовому производству и широкому применению малогабаритных, небольших по весу и сравнительно недорогих средств радиоуправления, связи и передачи данных. Подобные маломощные источники создают широкополосные излучения, которые не опасны по отдельности, но могут создавать недопустимые непреднамеренные помехи РЛС при групповом использовании на небольших дальностях от рецептора помех [3–5, 8–10]. Экспериментальные данные о воздействии широкополосных сигналов систем радиоуправления, связи передачи данных показывают, что в случае некоррелированности их с зондирующими сигналами РЛС эффект воздействия аналогичен воздействию шумовых помех [2]. При этом специфика одновременного воздействия сразу нескольких ИП на РЛС с ААР до этого не исследовалась. Поэтому рассматриваемые в статье вопросы обеспечения помехоустойчивости РЛС ОП с ААР в условиях воздействия на них группы маломощных источников непреднамеренных шумовых помех являются актуальными.

Цель написания статьи состоит в том, чтобы показать результаты исследования помехоустойчивости РЛС обзора пространства с ААР в условиях воздействия группы источников непреднамеренных шумовых помех.

СТРУКТУРА АНАЛИТИКО-ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАЗЕМНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОБЗОРА ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГРУППЫ ИСТОЧНИКОВ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ

Для анализа помехоустойчивости наземных РЛС ОП разработана модель воздействия на РЛС ОП непреднамеренных шумовых помех, создаваемых группой маломощных источников излучений. Рассмотрена ситуация, когда одна РЛС ОП осуществляет контроль воздушного пространства и сопровождает в зоне своей ответственности некоторое количество одиночных летательных аппаратов (ЛА). При этом предполагается, что центр группы источников непреднамеренных шумовых помех располагается примерно на линии визирования РЛС ОП – ЛА и формирует шумовые помехи.

Структура аналитико-имитационной модели функционирования наземной РЛС ОП в условиях воздействия группы источников непреднамеренных шумовых помех показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема аналитико-имитационной модели функционирования наземной РЛС ОП в условиях применения группы источников непреднамеренных шумовых помех

Структура состоит из четырех частей:

- модели РЛС ОП, включающей в себя блоки адаптивной антенной решетки (ААР), приемника (ПРМ), передатчика (ПРД) и обнаружителя;

- модели группы источников непреднамеренных помех, включающей в себя K формирователей шумовых помех и блок имитации местоположения каждого ИП и центра группы ИП;

– модели летательного аппарата, состоящей из формирователя отраженного сигнала от ЛА и блока имитации местоположения ЛА;

– модуля статистической обработки для многократного проведения испытаний при случайно меняющихся значениях смещений ЛА и ИП относительно РЛС ОП.

Аналитико-имитационная модель позволяет оценить влияние относительного положения ЛА и центра группы ИП на изменение дальности обнаружения с учетом воздействия случайных факторов условий радиолокационных наблюдений. Далее подробно рассмотрим составные части представленной модели.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИГНАЛА И ПОМЕХ НА ВЫХОДЕ ПРИЕМНОГО ТРАКТА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

При моделировании функционирования РЛС ОП полагали, что пространственная и временная обработки независимы и осуществляются последовательно.

Будем считать, что пространственно-временной сигнал на входе ААР РЛС представляет собой аддитивную смесь отраженного от ЛА сигнала, собственных шумов и непреднамеренных шумовых помех от K источников излучения. При этом диаграмма направленности приемной антенны РЛС ОП в условиях прихода помех с нескольких направлений будет адаптироваться, формируя нули ДН в направлениях на источники излучения.

Рассмотрим, как изменяется отношение сигнал/шум по мощности Q на входе приемника РЛС при изменении состава и местоположения группы ИП

$$Q = \frac{P_c}{\sum_{i=0}^I P_{ni} + P_{ш}}, \quad (1)$$

где P_c – мощность отраженного сигнала от наблюдаемого ЛА на входе приемника РЛС;

P_{ni} – мощность помехи от i -го ИП на входе приемной антенны РЛС;

$P_{ш}$ – мощность собственного шума РЛС;

I – количество источников шумовых непреднамеренных помех, воздействующих на РЛС ($i=1, \dots, I$).

Мощность отраженного сигнала P_c от наблюдаемого ЛА на входе приемника РЛС после адаптации рассчитывается следующим образом [1]:

$$P_c = \frac{P_{прд} G_{прд} G_{прм}(\theta) \lambda^2}{(4\pi)^3 R_c^4} \sigma(\alpha), \quad (2)$$

где $P_{прд}$ – мощность излучения РЛС;

$G_{прд}$ – коэффициент направленного действия передающей антенны РЛС;

$G_{прм}(\theta)$ – коэффициент направленного действия приемной антенны РЛС в направлении θ на ЛА после адаптации;

θ – угол, образованный направлением прихода волны и нормалью к ААР;

λ – длина волны зондирующего сигнала РЛС ОП;

$\sigma(\alpha)$ – эффективная площадь рассеивания прикрываемого ЛА, зависящая от угла α , образованного осью вращения ЛА и линией визирования РЛС ОП – ЛА;

R_c – расстояние от РЛС ОП до ЛА.

Мощность помехи от i -го ИП на входе приемника РЛС ОП будет рассчитываться с использованием коэффициента направленного действия приемной антенны $G(\theta_i)$, учитывающего направление ее прихода:

$$P_{ni} = \frac{P_{pi} G_{pi} G_{прм}(\theta_i) \lambda^2 \gamma}{(4\pi R_{pi})^2}, \quad (3)$$

где G_{pi} – коэффициент направленного действия передающей антенны i -го ИП;

- $R_{\pi i}$ – расстояние от i -го ИП до РЛС ОП;
 γ – коэффициент, учитывающий различие приемной антенны РЛС ОП и передающей антенны i -го ИП по поляризации (он принимается равным 0,5);
 $G_{\text{прм}}(\theta_i)$ – значение коэффициента направленного действия ААР в направлении на i -й ИП после адаптации.

Мощность собственного шума РЛС ОП определяется известным выражением [2]

$$P_{\text{ш}} = k_{\text{ш}} k T_0 \Delta f_{\text{прм}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{ш}}$ – коэффициент шума;

k – постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T_0 – абсолютная температура приемника;

$\Delta f_{\text{прм}}$ – полоса пропускания приемника РЛС.

Модель шумовой помехи описывается набором отсчетов дискретных составляющих помехового сигнала, распределенных по нормальному закону

$$\xi[n] = \sum_{k=0}^m E_k \cos \cdot \left(2\pi \left(f_{\text{н}} + (f_{\text{в}} - f_{\text{н}}) \frac{k}{m} \right) \frac{n}{2f_{\text{в}}} + \alpha_k \right), \quad (5)$$

где E_k – случайный коэффициент с релеевским распределением, $k=1, 2, \dots, m$;

$f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$ – нижняя и верхняя частоты энергетического спектра шумовой помехи соответственно;

α_k – случайные фазы гармоник, не зависящие от E_k и распределенные равномерно в интервале $[0, 2\pi]$.

Пусть ААР состоит из N первичных приемных антенных каналов, тогда значения коэффициента направленного действия ААР в направлениях на цель и источники помех в выражениях (2) и (3) определяются [6] следующим образом:

$$G(\theta) = \sum_{n=1}^N w_n^* e^{jnkd \sin \theta}, \quad (6)$$

где w_n^* – комплексный коэффициент взвешивания, $w_n^* = |w_n| e^{j\varphi_n}$ (где w_n – по амплитуде, $e^{j\varphi_n}$ – по фазе);

φ_n – фазовый сдвиг в устройстве комплексного взвешивания для n -го элемента решетки;

k – волновое число, $k = 2\pi/\lambda$;

λ – длина волны;

d – расстояние между элементами антенной решетки;

N – количество элементов решетки.

Чтобы найти значение $G(\theta)$ в выражении (6), необходимо определить оптимальный вектор весовых коэффициентов w_n^* . Пусть начало координат совпадает с фазовым центром первого элемента ААР. Тогда для линейной эквидистантной ААР, расположенной в свободном пространстве (случай плоских волн), вектор помехи и вектор полезного сигнала можно записать в виде [6, 7]

$$\Phi_j = \{1, \exp(ju_i), \exp(2ju_i), \dots, \exp[(N-1)ju_i]\}^T, \quad (7)$$

где u_i – набег фазы между соседними элементами ААР для i -го ИП ($i=1, \dots, I$) и сигнала ($i=0$), при этом $u_i = kds \sin \theta_i$;

θ_i – угол, образованный направлением на i -й источник излучения и нормалью к ААР;

$()^T$ – знак транспонирования.

Рассмотрим помеховую ситуацию, при которой помеха создается несколькими взаимно некоррелированными внешними источниками и собственным шумом. В этом случае вектор помехи X составит [6, 7]

$$X = \sum_{i=1}^L a_i \Phi_i + N_{\text{ш}}, \quad (8)$$

где a_i – случайная комплексная амплитуда i -й помехи;
 $N_{\text{ш}}$ – вектор собственных шумов приемника ААР.

Известно, что оптимальный весовой вектор ААР РЛС должен удовлетворять системе линейных уравнений вида [6, 7]

$$MW = \Phi_0, \quad (9)$$

где M – корреляционная матрица помехи в приемных каналах ААР;
 Φ_0 – вектор, описывающий полезный сигнал;
 W – некоторый искомый вектор весовых коэффициентов.

Решением уравнения (9) является оптимальный вектор весовых коэффициентов [6]:

$$W_{\text{опт}} = M^{-1} \Phi_0. \quad (10)$$

В реальной ААР глубина нулей в диаграмме направленности антенны ограничена квантованием уровней обрабатываемых сигналов и помех. В статье число фазовых сдвигов при управлении фазовращателем выбиралось как $m=2^5$, когда все возможные значения состояния фазы лежат в интервале от $-\pi$ до π с шагом $\pi/16$. Исходя из этого фазовый сдвиг будет принимать следующие дискретные значения:

$$\varphi_{\text{кван } n} = k_{\text{кв}} (|\varphi_n| / \varphi_n) \pi / 16, \quad (11)$$

$$k_{\text{кв. } l} = \begin{cases} l-1; & \text{если } |\varphi_n| \geq (l-1)\pi/16 \text{ и } |\varphi_n| < (l-1)\pi/16 + \pi/32, \\ l; & \text{если } |\varphi_n| \geq (l-1)\pi/16 + \pi/32 \text{ и } |\varphi_n| < l \cdot \pi/16 \end{cases} \quad (12)$$

где $\varphi_{\text{кван } n}$ – квантованная фаза n -го коэффициента взвешивания;
 φ_n – значение состояния фазы n -го элемента ААР при идеальных фазовращателях;
 $k_{\text{кв. } l}$ – коэффициент квантования l -го уровня квантования;
 l – порядковый номер уровня квантования, $l \in [1; m]$.

Модель приемника представляет собой оптимальный корреляционный приемник для обнаружения детерминированного сигнала на фоне белого гауссовского шума. Отношение сигнал/шум на выходе приемника $Q_{\text{вых}}$ будет определяться отношением сигнал/шум на входе приемника Q (1) и коэффициентом сжатия $K_{\text{сж}}$:

$$Q_{\text{вых}} = Q \cdot K_{\text{сж}}. \quad (13)$$

Модель обнаружения представляет собой оптимальный обнаружитель, реализующий обнаружение сигналов в условиях меняющейся помеховой обстановки на основе критерия обнаружения Неймана – Пирсона.

Предложенная аналитическая модель позволяет находить отношение сигнал/шум на выходе приемника РЛС ОП с учетом оптимальной пространственной и временной обработок сигналов в условиях воздействия группы источников непреднамеренных шумовых помех.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ НА РАДИОЛОКАЦИОННУЮ СТАНЦИЮ

Имитационное моделирование воздействия помех на РЛС ОП проводится с использованием блока статистической обработки путем многократного проведения испытаний для случайно меняющихся значений смещений ЛА и ИП относительно РЛС ОП в условиях применения группы источников непреднамеренных шумовых помех.

При моделировании в качестве исходных данных принималось следующее:

1. Групповой ИП, состоящий из четырех одинаковых излучателей шумовых помех, находящихся от РЛС ОП на расстоянии $R_{\text{п}}$ 20 км. Для РЛС среднее угловое расстояние между соседними ИП равно $0,4^\circ$.

2. ЛА, наблюдаемый на расстоянии $R_{\text{с}}=100$ км до РЛС ОП в момент времени попадания группы ИП на линию визирования РЛС ОП – ЛА. При этом совпадение направления на

центр группы ИП с линией визирования РЛС ОП – ЛА характеризуется некоторой угловой ошибкой $\delta\theta$.

3. Технические характеристики РЛС ОП:

- мощность передатчика РЛС $P_{\text{прд}}=1,5$ МВт;
- коэффициенты усиления приемной и передающей антенн $G_{\text{прм}}=G_{\text{прд}}=86$;
- ширина полосы частот зондирующего сигнала РЛС $\Delta f_{\text{прм}}=3,75$ МГц;
- расстояние между антенными элементами ААР РЛС $d=\lambda/2$;
- ширина основного лепестка диаграммы направленности ААР РЛС, равная $1,6^\circ$.

4. Технические характеристики каждого источника излучения помех из состава группы:

- мощность передатчика $P_{\text{п}}=5$ Вт;
- коэффициент усиления передающей антенны в направлении РЛС ОП $G_{\text{п}}=10$.

Для получения результатов моделирования принималось допущение, что защитное отношение для моделируемой РЛС составляет порядка -30 дБ.

Рассмотрим, как ведет себя пространственный фильтр антенной системы, состоящей из 86 элементов, в горизонтальной плоскости ААР. С использованием выражения (9) и с учетом (10) в программной среде MATLAB был рассчитан оптимальный вектор весовых коэффициентов $W_{\text{опт}}$ для случая формирования провалов ДН ААР в направлениях на источники помех. Моделировалась ситуация, когда ААР РЛС формировала нули в диаграмме направленности в направлениях на группу некоторого числа (от 1 до 4) ИП, попадающих на линию визирования РЛС ОП – ЛА (рис.2).

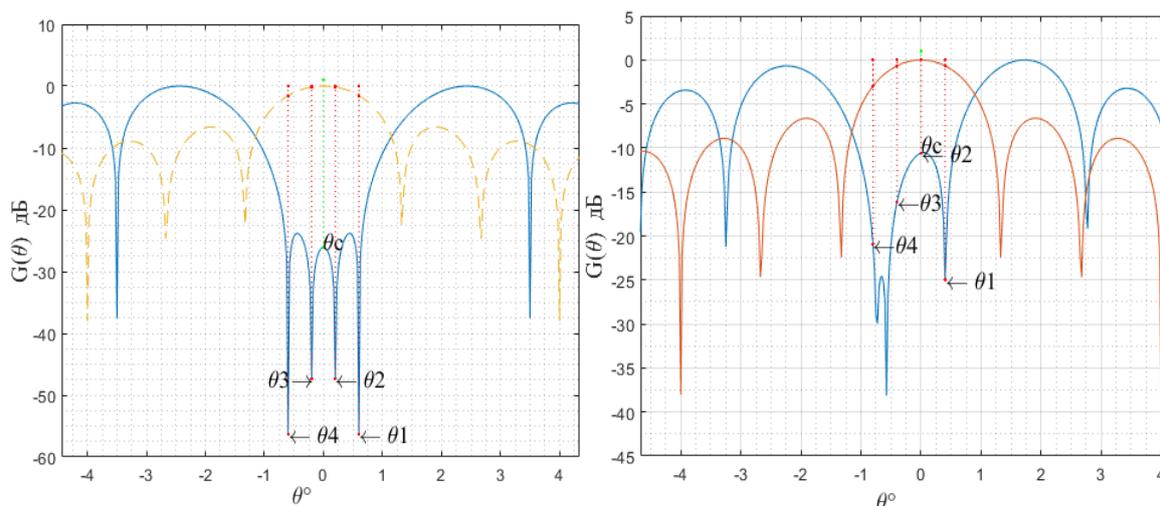


Рис. 2. Коэффициент направленного действия ААР моделируемой РЛС ОП в условиях размещения четырех ИП на линии визирования РЛС ОП-ЛА, где θ_c и $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ – направления на ЛА и ИП соответственно

Результаты моделирования показывают, что если большая часть ИП попадает в основной лепесток диаграммы направленности РЛС, то наряду с ослаблением уровня помех происходит и существенное (до 25-35 дБ) ослабление уровня полезного сигнала (рис.2).

На рис. 3 и 4 представлены полученные зависимости отношения сигнал/шум Q на выходе ААР в условиях, когда группа, включающая некоторое число (от 1 до 4) ИП, попадает на линию визирования РЛС ОП – ЛА. При этом на рис. 3 местоположение каждого ИП относительно друг друга и центра группы ИП жестко зафиксировано. Результаты моделирования показывают, что при увеличении числа ИП, попадающих в основной лепесток ДН РЛС, увеличивается количество формируемых провалов (нулей) диаграммы направленности после адаптации.

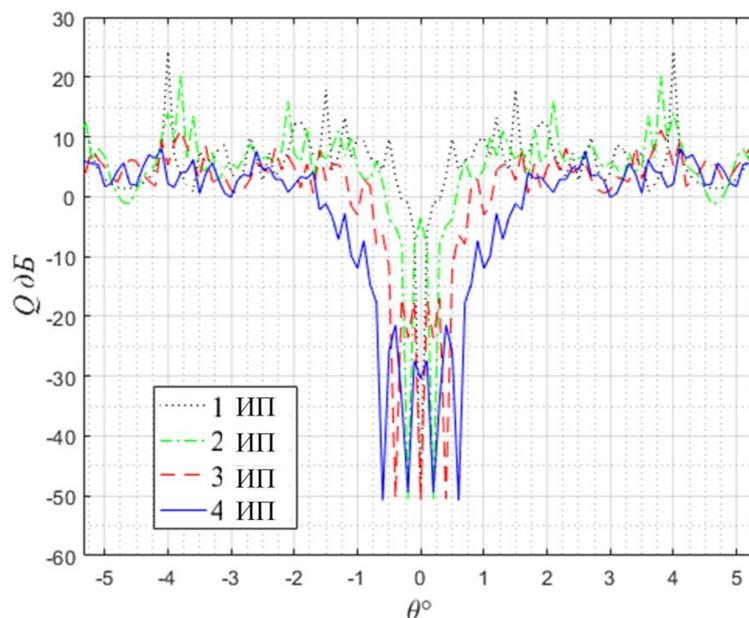


Рис. 3. Зависимость отношения сигнал/шум на выходе ААР в условиях жесткого попадания некоторого числа (от 1 до 4) ИП на линию визирования РЛС ОВП-ЛА

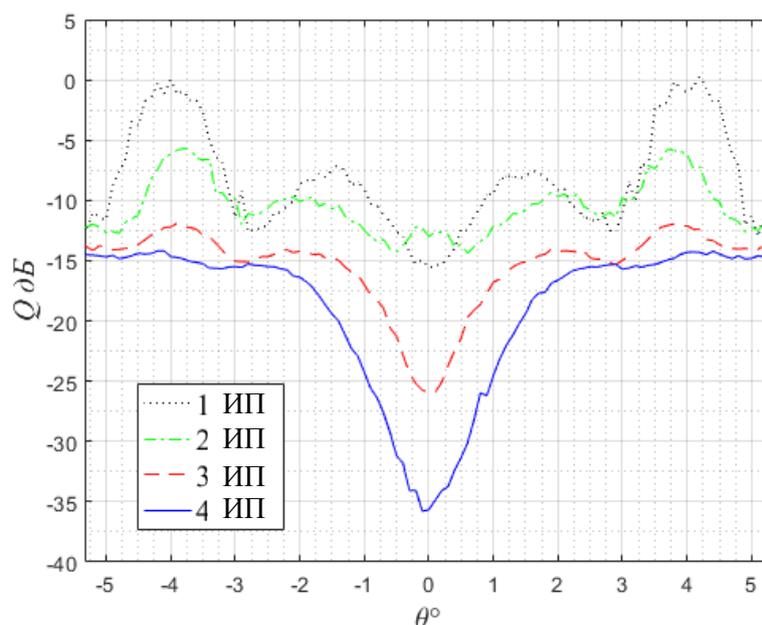


Рис. 4. Зависимость отношения сигнал/шум на выходе ААР в условиях удерживания некоторого числа (от 1 до 4) ИП на линии визирования РЛС ОВП – ЛА с ошибкой углового отклонения $\delta\theta$

На рис. 4 представлены результаты, полученные в условиях неопределенности местоположения центра группы ИП, которая задавалась ошибкой углового отклонения $\delta\theta$. Предполагалось, что значения ошибки углового отклонения распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением, равным 2° . В условиях осреднения зависимостей, представленных на рис. 3, с ростом количества ИП увеличиваются глубина и ширина провала, а также снижается изрезанность зависимостей от направления на ИП. Так, на уровне -20 дБ для трех и четырех ИП, попадающих в основной лепесток диаграммы направленности ААР, ширина провала достигает значения до 1 и 3 соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ рассмотренных в статье результатов проведенных исследований позволяет сделать вывод, что при проектировании современных РЛС ОП с целью увеличения их помехозащищенности от воздействий пространственно-распределенных шумовых помех целесообразно как увеличивать размеры апертуры антенны РЛС, так и повышать коэффициент сжатия сигнала в приемнике. Увеличение размеров апертуры антенны снижает вероятность попадания большого числа ИП в основной лепесток ДН ААР за счет ее сужения. Повышение коэффициента сжатия сигнала в приемнике повышает отношение сигнал/шум на его выходе.

Список используемых источников

1. *Куприянов А.И., Шустов Л.Н.* Радиоэлектронная борьба. Основы теории. – М.: Вузовская книга, 2011. – 800 с.
2. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем и комплексов: учеб. пособие / А.В. Паршуткин, А.В. Галандзовский, Д.В. Левин и др.; под ред. А.В. Паршуткина. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 148 с.
3. *Галандзовский А.В., Святкин С.А., Махди С.* Способ юстировки радиолокационных станций обзора пространства посредством активно-пассивной ретрансляции // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. – 2016. – № 5, 6. – С.31–35.
4. Принципы построения системы ретрансляции сигналов радиолокационных станций на базе низкоорбитальных сверхмалых космических аппаратов / В.Ф. Фатеев, А.В. Паршуткин, В.В. Вознюк и др. // Изв. высших учебных заведений. Приборостроение. – 2007. – Т. 50, № 6. – С. 35–39.
5. *Kim J., Hespanha J.P.* Cooperative Radar Jamming for Groups of Unmanned Air Vehicles // 43rd IEEE Conference on Decision and Control. – URL: http://www.academia.edu/152852/Cooperative_radar_jamming_for_groups_of_unmanned_air_vehicles (дата обращения: 20.05.2016).
6. *Монзинго Р.А., Миллер Т.У.* Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
7. *Журавлев А.К., Лукошкин А.П., Поддубный С.С.* Обработка сигналов в адаптивных антенных решетках. – Л.: Изд-во Ленинградского государственного ун-та, 1983. – 240 с.
8. *Мельников Ю.П., Попов С.В.* Радиоэлектронная разведка. Методы оценки эффективности местоопределения источников излучения. – М.: Радиотехника, 2008. – 432 с.
9. *Паршуткин А.В., Саидж М.* Моделирование воздействия сигналоподобных и шумовых помех на многофункциональные радиолокационные станции контроля пространства // Сборник статей III Всероссийской НПК «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Т.2. – С. 383–386.
10. *Паршуткин А.В., Туктамышев М.Р.* Показатели результативности защиты информации способами скрытия и имитации // Изв. вузов. Приборостроение – 2001. – Т. 44, № 9. – С. 14–19.

А.В. Таныгин

ВА РВСН имени Петра Великого, г. Балашиха

КОРРЕКЦИЯ ИСХОДНОЙ КОНФИГУРАЦИИ МАРШРУТА ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ПЛАНИРУЮЩЕГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ЭТАПЕ КОНТРОЛЯ РЕАЛИЗУЕМОСТИ

В статье рассматриваются методики коррекции конфигурации маршрута беспилотного планирующего летательного аппарата (БПЛА) типа «воздушно-космический самолет» на этапе контроля реализуемости. Маршрут задается выбранными на электронной карте поверхности Земли опорными точками в качестве промежуточных точек наведения для обеспечения заданной конфигурации траектории. Представлены две методики коррекции конфигурации маршрута БПЛА со смещением координат заданных опорных точек траектории до выполнения условия соответствия значений углов между направлениями на соседние опорные точки допустимым значениям, вычисленным с использованием линейной интерполяции на основе таблично заданных и соответствующим текущей скорости, высоте и дальности полета БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный планирующий летательный аппарат, опорная точка, сферический треугольник.

ВВЕДЕНИЕ

Большое внимание в настоящее время в ряде стран уделяется разработке ключевых технологий для создания воздушно-космических самолетов, а также беспилотных планирующих летательных аппаратов. Полет БПЛА проходит целиком в верхних слоях атмосферы. Кроме того, они имеют возможность совершения боковых маневров, пользуясь маневренными возможностями, создаваемыми аэродинамическими органами управления [1].

Маршруты беспилотного планирующего летательного аппарата целесообразно задавать совокупностями опорных точек и прокладывать на электронном отображении поверхности Земли [2].

Выходными данными о траектории полета БПЛА к цели в этом случае будут координаты некоторой совокупности опорных точек требуемой траектории, которые должны восприниматься бортовой системой управления как последовательность промежуточных точек наведения [3].

Контроль реализуемости маршрута БПЛА через заданные опорные точки осуществляется методом моделирования движения. Однако при контроле реализуемости маршрута не всегда могут выполняться ограничения на параметры управления (по углам атаки и аэродинамического крена) [4]. Потребуется коррекция маршрута, т.е. изменение положения отдельных точек для изменения кривизны опорной траектории на отдельных участках маршрута. При этом желательно коррекцию осуществлять алгоритмическим способом в ходе компьютерного моделирования полета БПЛА без участия человека.

Перед проведением контроля реализуемости выбранного маршрута предлагается заблаговременно при помощи моделирования полета на ЭВМ определять зависимости:

- 1) $V(t) = V(V_0, h_0, D(t))$ при $\varphi_i = \text{const}$ ($i=1,2,\dots,n$);
- 2) $\gamma_{\text{доп}} = \gamma_{\text{доп}}(V(t))$,

где $\gamma_{\text{доп}}$ – заданные таблично допустимые значения угла между направлениями на две соседние, отстоящие друг от друга на некоторое стандартное расстояние опорные

точки траектории, при которых достигается прохождение очередной опорной точки с требуемой точностью;

V_0, h_0 – начальные значения скорости и высоты полета БПЛА;

$D(t)$ – текущая сферическая дальность полета;

φ_i – значения из некоторого диапазона углов аэродинамического крена, принимаемые для обеспечения требуемой кривизны траектории постоянными для конкретного варианта расчета.

Стоит отметить, что необходимость введения допустимого угла между направлениями на две соседние опорные точки траектории вызвана требованием к учету ограничений по параметрам управления БПЛА: углу атаки и углу крена.

Причем значение угла $\gamma_{\text{доп}}$ можно вычислить с использованием линейной интерполяции по заранее рассчитанным табличным значениям для диапазонов изменения $V_{0k}, h_{0k}, D(t)_m$:

$$\gamma_{\text{доп}}(V_0, h_0, D(t)) = \Delta\gamma_{\text{доп}}(V_0, h_0, D(t)) + \frac{\partial\Delta\gamma}{\partial h_0} \cdot (h_0 - h_{0k}) + \frac{\partial\Delta\gamma}{\partial V_0} \cdot (V_0 - V_{0k}) + \frac{\partial\Delta\gamma}{\partial D(t)} \cdot (D(t) - D(t)_m), \quad (1)$$

где значения $\gamma_{\text{доп}}(V_0, h_0, D(t)), \frac{\partial\Delta\gamma}{\partial h_0}, \frac{\partial\Delta\gamma}{\partial V_0}, \frac{\partial\Delta\gamma}{\partial D(t)}$ заданы таблично в диапазоне изменения высоты $h_{0l} \leq h_0 \leq h_{0k}$ и скорости на момент начала полета $V_{0l} \leq V_0 \leq V_{0k}$, а также текущей сферической дальности полета $D(t)_0 \leq D(t) \leq D(t)_m$. Полученные зависимости можно представить в виде таблицы функции угла $\gamma_{\text{доп}}$ от трех переменных: $V_0, h_0, D(t)_m$.

Используя данную таблицу, можно вычислить значение угла $\gamma_{\text{доп}}$ для любой опорной точки траектории. Следовательно, в каждой выбранной опорной точке M_j необходимо проверить выполнение условия

$$\gamma(M_j) \leq \gamma_{\text{доп}}(V_0, h_0, D(t)). \quad (2)$$

Если условие (2) не выполняется, требуется коррекция положения опорной точки M_j , причем таким образом, чтобы сместить ее положение в ту сторону, в которой угол $\gamma(M_j)$ принимает меньшее значение. Итеративно уменьшая угол на малые значения $d\gamma$, необходимо обеспечить выполнение условия (2).

Зная координаты трех соседних опорных точек траектории M_{j-1}, M_j, M_{j+1} , требуется определить координаты такой опорной точки M_j^* , при которой условие (2) выполнялось бы.

МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ ИСХОДНОЙ КОНФИГУРАЦИИ МАРШРУТА БЕСПИЛОТНОГО ПЛАНИРУЮЩЕГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ТЕОРЕМ СФЕРИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ

Очевидно, что сместить точку M_j необходимо по дуге M_jS , перпендикулярной дуге $M_{j-1}M_{j+1}$. Если определить координаты точки S , то, уменьшая постепенно угол β между дугами $M_{j-1}M_{j+1}$ и $M_{j-1}M_j$ на определенную величину $\Delta\beta$, можно определить на дуге M_jS такую точку M_j^* , при которой угол γ с одного направления $M_{j-1}M_j^*$ на другое $M_j^*M_{j+1}$ будет удовлетворять условию (2) и будут вычислены координаты новой точки $M_j^* - B_{M_j^*}, L_{M_j^*}$.

Алгоритм определения координат точки M_j^* представляет собой итерационный процесс и включает:

1) вычисление текущего значения угла $\gamma(M_j)$ между направлениями на две соседние опорные точки траектории M_j и M_{j+1} (рис. 1);

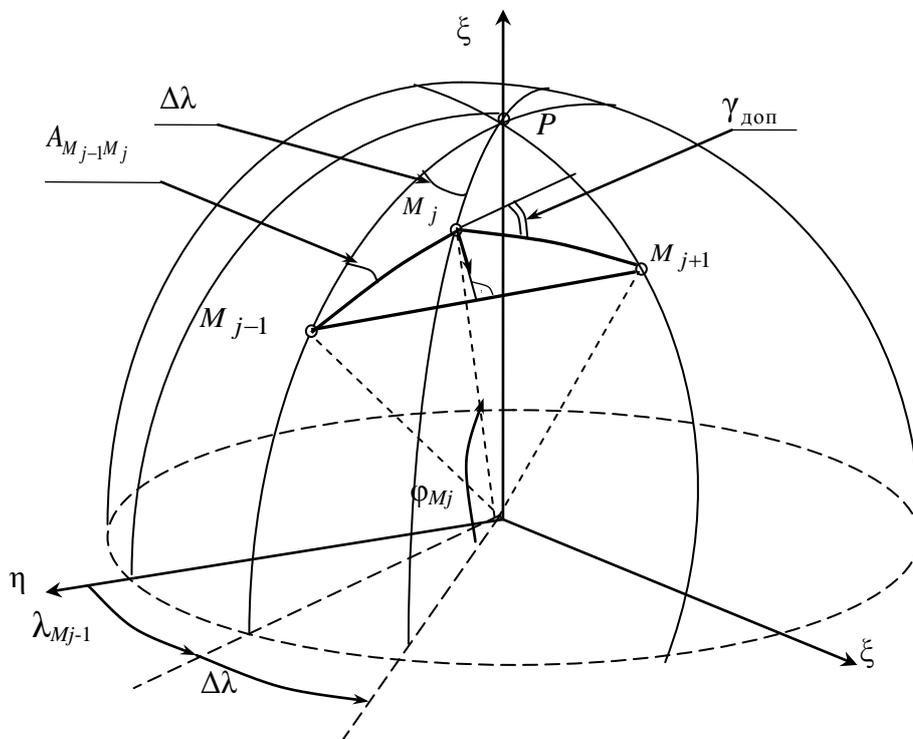


Рис. 1. Сферические координаты опорной точки

- 2) проверку выполнения условия (2);
- 3) при невыполнении указанного условия уменьшение угла β между дугами $M_{j-1}M_{j+1}$ и $M_{j-1}M_j$ на определенную величину $\Delta\beta$ со смещением точки M_j до точки M_j^* ($i=1,2,\dots,n$, где n – количество итераций) (рис. 2);
- 4) вычисление нового значения угла $\gamma_1(M_{j_1})$;
- 5) очередную проверку выполнения условия (2);
- 6) в случае его выполнения вычисление координат точки M_j^* .

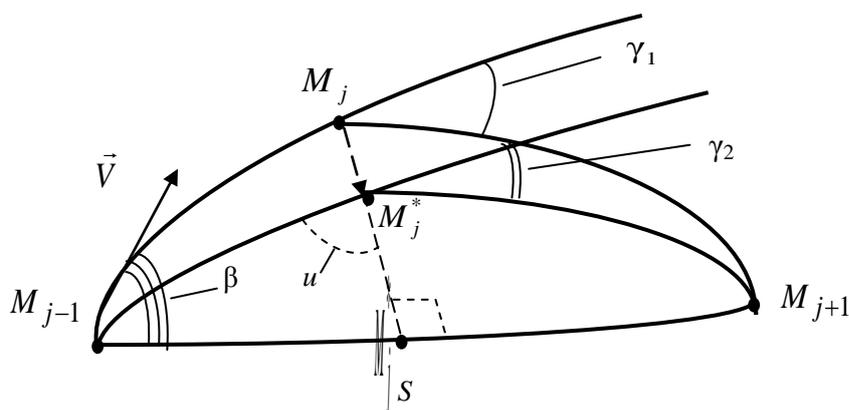


Рис. 2. Схема смещения опорной точки траектории

Текущее значение угла $\gamma(M_j)$ между направлениями на две соседние опорные точки траектории M_{j+1} можно вычислить по формуле

$$\gamma(M_j) = \pi - \alpha, \quad (3)$$

где α – внутренний угол между направлениями на две соседние опорные точки траектории M_{j+1} , определяемый в сферическом треугольнике $M_{j-1}M_jM_{j+1}$ по теореме синусов сторон:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin(M_{j-1}M_{j+1}) \cdot \sin\beta}{\sin(M_jM_{j+1})}\right). \quad (4)$$

Угол β между дугами $M_{j-1}M_{j+1}$ и $M_{j-1}M_j$ можно вычислить по теореме косинусов сторон:

$$\beta = \arccos\left(\frac{\cos(M_jM_{j+1}) - \cos(M_{j-1}M_j) \cdot \cos(M_{j-1}M_{j+1})}{\sin(M_{j-1}M_j) \cdot \sin(M_{j-1}M_{j+1})}\right). \quad (5)$$

Длины дуг на поверхности Земли $M_{j-1}M_{j+1}$, $M_{j-1}M_j$, M_jM_{j+1} вычисляются через угловые дальности полета:

$$M_{j-1}M_j = R_3 \cdot \arccos\left(\frac{\xi_{j-1} \cdot \zeta_j + \eta_{j-1} \cdot \eta_j + \zeta_{j-1} \cdot \zeta_j}{r_{j-1} \cdot r_j}\right), \quad (6)$$

где R_3 – радиус Земли;

r_{j-1}, r_j – длины радиусов-векторов точек M_{j-1}, M_j , определяемые как

$$r_j = \sqrt{\xi_j^2 + \eta_j^2 + \zeta_j^2}, \quad r_{j-1} = \sqrt{\xi_{j-1}^2 + \eta_{j-1}^2 + \zeta_{j-1}^2}. \quad (7)$$

При невыполнении требуемого условия (1) уменьшим угол β между дугами $M_{j-1}M_{j+1}$ и $M_{j-1}M_j$ на величину $\Delta\beta$ со смещением точки M_j до точки M_j^* и повторным вычислением внутреннего угла между направлениями на две соседние опорные точки M_j и M_{j+1} :

$$\alpha^* = \arcsin\left(\frac{\sin(M_{j-1}M_{j+1}) \cdot \sin(\beta - \Delta\beta)}{\sin(M_j^*M_{j+1})}\right), \quad (8)$$

где сторона $M_j^*M_{j+1}$ вычисляется по теореме косинусов сторон:

$$M_j^*M_{j+1} = \arccos(\cos(M_{j-1}M_j^*) \cdot \cos(M_{j-1}M_{j+1}) + \sin(M_{j-1}M_j^*) \cdot \sin(M_{j-1}M_{j+1}) \cdot \cos(\beta - \Delta\beta)),$$

а сторона $M_j^*M_{j-1}$ – из прямоугольного сферического треугольника $M_{j-1}M_j^*S$ по правилу Непера [5], т.е.

$$M_j^*M_{j-1} = \arccos(\operatorname{ctgu} \cdot \operatorname{ctg}(\beta - \Delta\beta)), \quad (9)$$

$$u = \arccos(\cos(M_{j-1}S) \cdot \sin(\beta - \Delta\beta)), \quad M_{j-1}S = \arcsin(\operatorname{tg}(M_jS) \cdot \operatorname{ctg}(\beta - \Delta\beta)), \quad (10)$$

$$M_jS = \arcsin(\sin(\beta - \Delta\beta) \cdot \sin(M_jM_{j-1})). \quad (11)$$

В случае выполнения условия $\gamma(M_j^*) \leq \gamma_{\text{доп}}(V_0, h_0, D(t))$ вычислим сферические координаты точки M_j^* из треугольника $M_j^*M_{j-1}P$. Долготу точки M_j^* можно найти по формуле

$$\lambda_{M_j^*} = \lambda_{M_{j-1}} + \Delta\lambda^*, \quad (12)$$

где

$$\Delta\lambda^* = \arccos\left(\frac{\cos(M_j^*M_{j-1}) - \cos(M_{j-1}P) \cdot \cos(M_j^*P)}{\sin(M_{j-1}P) \cdot \sin(M_j^*P)}\right),$$

$$M_j^*P = \arccos(\cos(M_{j-1}P) \cdot \cos(M_{j-1}M_j^*) + \sin(M_{j-1}P) \cdot \sin(M_{j-1}M_j^*) \cdot \cos(A_{M_{j-1}M_j} + \Delta\beta)). \quad (13)$$

С учетом того, что центральные углы на сфере модели Земли подобны центральным углам единичной сферы, сторону сферического треугольника Эйлера $M_{j-1}P$ можно вычислить через соответствующий центральный угол, измеряемый в радианах:

$$M_{j-1}P = \pi/2 - \varphi_{M_{j-1}}, \quad (14)$$

а широту точки M_j^* можно найти по формуле

$$\varphi_{M_j^*} = \pi/2 - M_j^*P. \quad (15)$$

Чтобы достичь условия окончания процесса итерации по смещению точки M_j до точки M_j^* , необходимо каждую итерацию начинать с расчета движения БПЛА от предыдущей точки M_{j-1} до $M_j^*(t)$ при одних и тех же начальных условиях. Для этого требуется запоминать параметры в точке M_{j-1} – высоту $h_{M_{j-1}}$, скорость $V_{M_{j-1}}$, момент времени $t_{M_{j-1}}$ и интегрировать систему дифференциальных уравнений движения БПЛА каждый раз при одних и тех же начальных условиях в точке M_{j-1} , поскольку в ней угол $\gamma(M_{j-1})$ удовлетворяет условию (2).

Представленная методика позволяет осуществлять контроль и при необходимости коррекцию координат заданных опорных точек траектории беспилотного летательного аппарата исходя из допусков на управляющие параметры БПЛА, обладает достаточной простотой программной реализации.

Однако несмотря на имеющиеся преимущества рассмотренная методика имеет и очевидный недостаток, заключающийся в наличии ограничений для числовых и угловых аргументов тригонометрических функций, что может привести к их вырождению при формировании маршрута в Южном полушарии Земли.

СПОСОБ КОРРЕКЦИИ ИСХОДНОЙ КОНФИГУРАЦИИ МАРШРУТА БЕСПИЛОТНОГО ПЛАНИРУЮЩЕГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИЙ ВЕКТОРНОЙ АЛГЕБРЫ

Указанный недостаток отсутствует в методике коррекции положения заданной совокупности опорных точек, основанной на использовании операций векторной алгебры. При ее применении угол между направлениями на две соседние, отстоящие друг от друга на некоторое стандартное расстояние опорные точки траектории отличается от угла в предыдущей методике и задается не между дугами, соединяющими соседние точки траектории, а между прямыми линиями.

Зная координаты трех соседних опорных точек траектории M_{j-1}, M_j, M_{j+1} , требуется определить координаты такой опорной точки M_j^* , при которой условие (1) выполнялось бы.

Суть методики заключается в следующем. Определим в относительной геоцентрической системе координат $O\xi\eta\zeta$ радиус-вектор имеющихся трех опорных точек траектории [6]:

$$\vec{r}_j = \begin{pmatrix} \xi_j \\ \eta_j \\ \zeta_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_3 + h_j) \cdot \sin B_j \\ (R_3 + h_j) \cdot \cos B_j \cdot \cos L_j \\ (R_3 + h_j) \cdot \cos B_j \cdot \sin L_j \end{pmatrix}, \quad (16)$$

$$\vec{r}_{j-1} = \begin{pmatrix} \xi_{j-1} \\ \eta_{j-1} \\ \zeta_{j-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_3 + h_{j-1}) \cdot \sin B_{j-1} \\ (R_3 + h_{j-1}) \cdot \cos B_{j-1} \cdot \cos L_{j-1} \\ (R_3 + h_{j-1}) \cdot \cos B_{j-1} \cdot \sin L_{j-1} \end{pmatrix}, \quad (17)$$

$$\vec{r}_{j+1} = \begin{pmatrix} \xi_{j+1} \\ \eta_{j+1} \\ \zeta_{j+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_3 + h_{j+1}) \cdot \sin B_{j+1} \\ (R_3 + h_{j+1}) \cdot \cos B_{j+1} \cdot \cos L_{j+1} \\ (R_3 + h_{j+1}) \cdot \cos B_{j+1} \cdot \sin L_{j+1} \end{pmatrix}. \quad (18)$$

При этом стороны треугольника $M_{j-1}M_jM_{j+1}$ можно представить в виде разницы векторов (рис.3):

$$\begin{aligned} \vec{\rho}_1 &= \vec{r}_i - \vec{r}_{i-1}, \\ \vec{\rho}_2 &= \vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i, \\ \vec{\rho}_3 &= \vec{r}_{i+1} - \vec{r}_{i-1}. \end{aligned} \quad (19)$$

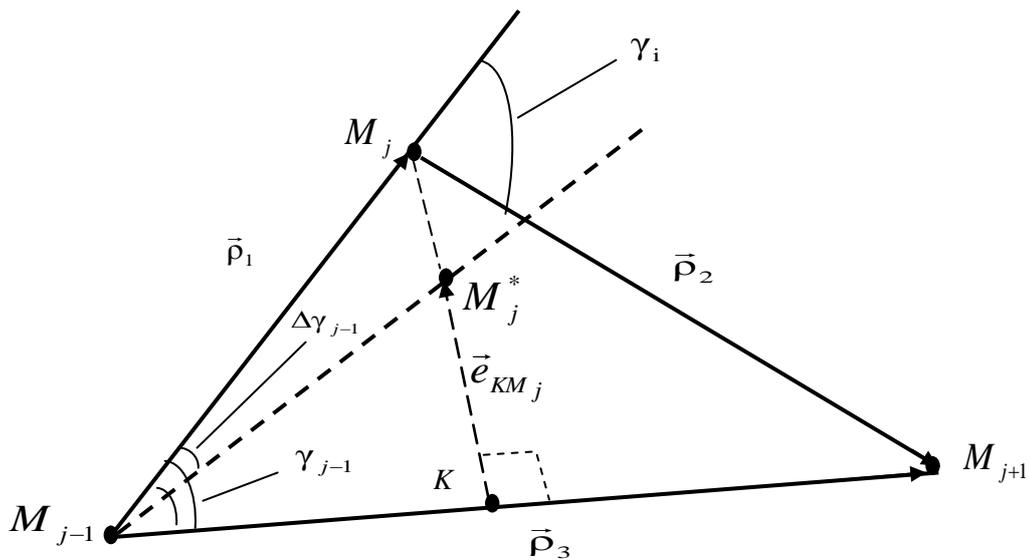


Рис.3. Схема смещения опорной точки траектории

Тогда угол между направлениями на две соседние опорные точки траектории $M_{j-1}M_j$ и M_jM_{j+1} можно выразить через скалярное произведение векторов:

$$\gamma_j = \arccos \left(\frac{\vec{\rho}_1 \cdot \vec{\rho}_2}{\rho_1 \cdot \rho_2} \right), \quad (20)$$

Аналогично находится и угол между сторонами $M_{j-1}M_j$:

$$\gamma_{j-1} = \arccos \left(\frac{\vec{\rho}_3 \cdot \vec{\rho}_1}{\rho_3 \cdot \rho_1} \right). \quad (21)$$

Теперь можно проверить выполнение условия (2), при невыполнении указанного условия необходимо провести коррекцию положения точки M_j . Смещать точку M_j необходимо по перпендикуляру к линии $M_{j-1}M_{j+1}$ вдоль линии M_jK .

Поскольку полученный треугольник $M_{j-1}M_jK$ является прямоугольным, то

$$M_jK = \rho_1 \cdot \sin \gamma_{j-1}, \quad (22)$$

где ρ_1 – длина вектора $\vec{\rho}_1$, при этом $\rho_1 = \sqrt{\rho_{1\xi}^2 + \rho_{1\eta}^2 + \rho_{1\zeta}^2}$;

$\rho_{1\xi}, \rho_{1\eta}, \rho_{1\zeta}$ – проекции вектора $\vec{\rho}_1$ в относительной геоцентрической системе координат.

При смещении точки M_j вдоль линии M_jK получим совокупность точек M_{ij}^* ($i=1,2,\dots, n$, где n – количество итераций смещения точки) при $\Delta\gamma_j^* = 1^\circ, 2^\circ, \dots, n$. Тогда в прямоугольных треугольниках $M_{j-1}M_{ij}^*K$ второй катет будет постоянным и будет определяться как

$$M_{j-1}K = \rho_1 \cdot \cos \gamma_{j-1}. \quad (23)$$

При каждой последующей итерации с уменьшением угла γ_{j-1} на некоторую величину $\Delta\gamma_{j-1}$ в прямоугольном треугольнике $M_{j-1}M_{ij}^*K$ нам будут известны длина катета $M_{j-1}K$ и величина угла $\gamma_{j-1} - \Delta\gamma_{j-1}$, что позволяет найти длину другого катета:

$$M_{ij}^*K = M_{j-1}K \cdot \operatorname{tg}(\gamma_{j-1} - \Delta\gamma_{j-1}). \quad (24)$$

Но это скалярная величина, необходимо знать величину вектора $\overrightarrow{M_{ij}^*K}$.

Представим вектор $\overrightarrow{M_jK}$ в виде разницы векторов:

$$\overrightarrow{M_jK} = \vec{r}_k - \vec{r}_{M_j}, \quad (25)$$

где \vec{r}_k – радиус-вектор точки K , при этом

$$\vec{r}_k = \vec{r}_{j-1} + \vec{\rho}_3^0 \cdot M_{j-1}K;$$

$$\vec{\rho}_3^0 - \text{орт вектора } \vec{\rho}_3; \vec{\rho}_3^0 = \frac{\vec{\rho}_3}{\rho_3}.$$

Все полученные точки M_{ij}^* ($i=1,2,\dots, n$, где n – количество итераций смещения точки) лежат на векторе $\overrightarrow{M_jK}$ (25), следовательно, с учетом формулы (24) координаты точек M_{ij}^* можно определить из выражения

$$\vec{r}_{ij}^* = \vec{r}_k + \Delta\vec{r}_{ij}^* = \vec{r}_k + \vec{e}_{KM_j} \cdot M_{ij}^*K, \quad (26)$$

где \vec{e}_{KM_j} – орт вектора $\overrightarrow{KM_j}$, равный значению из выражения (25), но с противоположным знаком:

$$\vec{e}_{KM_j} = \frac{\vec{r}_{M_j} - \vec{r}_k}{|\vec{r}_{M_j} - \vec{r}_k|}. \quad (27)$$

Выражение (26) позволяет вычислить координаты точек M_{ij}^* ($i=1,2,\dots, n$, где n – количество итераций смещения точки) вдоль перпендикуляра к вектору $\vec{\rho}_3$ при изменяющихся векторах $\vec{\rho}_1$ и $\vec{\rho}_2$ в геоцентрической системе координат

$$\vec{r}_{ij}^* = \begin{pmatrix} \xi_{ij}^* \\ \eta_{ij}^* \\ \zeta_{ij}^* \end{pmatrix} \quad (28)$$

до выполнения условия $\gamma(M_j) \leq \Delta\gamma_{\text{доп}}(V_0, h_0, D(t))$.

Для определения сферических координат точек M_{ij}^* воспользуемся известными зависимостями [6]:

$$\varphi_{ij}^* = \arcsin \frac{\xi_{ij}^*}{\sqrt{\xi_{ij}^{*2} + \eta_{ij}^{*2} + \zeta_{ij}^{*2}}}, \quad (29)$$

$$\lambda_{ij}^* = \arccos \frac{\eta_{ij}^*}{\sqrt{\eta_{ij}^{*2} + \zeta_{ij}^{*2}}}. \quad (30)$$

Из указанных соотношений можно установить и обратную связь:

$$\vec{r}_{ij}^* = \begin{pmatrix} \xi_{ij}^* \\ \eta_{ij}^* \\ \zeta_{ij}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_3 + h_i^*) \cdot \sin \varphi_{ij}^* \\ (R_3 + h_i^*) \cdot \cos \varphi_{ij}^* \cdot \cos \lambda_{ij}^* \\ (R_3 + h_i^*) \cdot \cos \varphi_{ij}^* \cdot \sin \lambda_{ij}^* \end{pmatrix}. \quad (31)$$

Для вычисления геодезических координат при известных прямоугольных геоцентрических наиболее удобным является предложенный в работе [7] вариант, который при обеспечении высокой точности пересчета не требует итераций.

1. Вычисляется радиус параллели R и вспомогательная функция θ :

$$R = \sqrt{\eta^2 + \zeta^2}, \quad \theta = \arctg \frac{\xi}{R(1-e^2)}, \quad (32)$$

где e^2 – квадрат первого эксцентриситета референц-эллипсоида.

2. Вычисляется геодезическая широта по формуле

$$B = \arctg \left[\left(\xi + ae^2 \frac{\sin^3 \theta}{\sqrt{1-e^2}} \right) \cdot \frac{1}{R - ae^2 \cos^3 \theta} \right], \quad (33)$$

где a – большая полуось референц-эллипсоида.

3. Геодезическую долготу находят по формуле

$$L = \arctg(\zeta / \eta). \quad (34)$$

4. Высоту вычисляют по одной из формул:

$$H = \frac{\eta}{\cos B \cos L} - N = \frac{\zeta}{\cos B \sin L} - N = \frac{\xi}{\sin B} - N(1-e^2). \quad (35)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представленные методики позволяют осуществлять контроль выполнения ограничений на управляющие параметры полета БПЛА и при необходимости коррекцию координат заданных опорных точек траектории до достижения таблично заданных значений допустимых углов между направлениями на две соседние опорные точки траектории, соответствующих текущей скорости, высоте и дальности полета.

Предлагаемые методики коррекции выбранной конфигурации маршрута БПЛА могут применяться на этапе контроля реализуемости сформированного маршрута полета.

Список используемых источников

1. *Сихарулидзе Ю.Г.* Баллистика и наведение летательных аппаратов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 407 с.
2. Энциклопедия Ракетных войск стратегического назначения / редкол.: В.И. Милованов (пред.) и др. – М.: МО РФ, РВСН, 2014. – 875 с.
3. *Разоренов Г.Н., Бахрамов Э.А., Титов Ю.Ф.* Системы управления летательными аппаратами (баллистическими ракетами и их головными частями): учебник для вузов / под ред. Г.Н. Разоренова. – М.: Машиностроение, 2003. – 584 с.
4. *Лысенко Л.Н.* Наведение и навигация баллистических ракет: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 672 с.
5. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по высшей математике. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986. – 544 с.
6. Баллистика ракет: учебник: в 2 ч. / А.Н. Андреев, К.Р. Байрамов, С.И. Войтенко, А.А. Донченко. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2014. – Ч.1. – 436 с.
7. *Беневольский С.В.* Баллистические основы выбора программы угла тангажа ракет стратегического назначения. – М.: ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1996. – 88 с.

В.И. Горбулин,
доктор техн. наук, профессор;
Н.В. Радионов,
*доктор экономических наук, кандидат
техн. наук, доцент;*
М.А. Ходор;
Ю.А. Чудновский,
кандидат техн. наук

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ВЫБОРЕ СОСТАВА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СЕГМЕНТА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье обозначено, что непрерывность радиолокационного поля может быть нарушена вследствие воздействия радиоэлектронной помехи на радиолокационную станцию. Предложено комплексирование средств наблюдения радио- и оптического диапазонов для компенсации снижения качества поля наблюдения. Сформулированы содержательная и математическая постановки задачи определения типа оптико-электронного средства. В рамках метода анализа иерархии использованы аналитические зависимости оценивания альтернатив по качественным и количественным параметрам объектов относительно перспективы достижения поставленной цели. Представлены результаты применения модифицированных процедур для выбора из десяти объектов по десяти характеристикам.

Ключевые слова: выбор, достоверность, альтернативы, критически важные характеристики, экспертные суждения, глобальный приоритет.

ВВЕДЕНИЕ

Базовым средством наблюдения систем управления воздушным движением является радиолокационная станция. Совокупность зон обнаружения радиолокационных станций образует радиолокационное поле. Одним из условий реализации заданной вероятности обнаружения летательных аппаратов является непрерывность радиолокационного поля в поле наблюдения. Выполнению данного условия препятствуют факторы, определяющие отклонение размеров и формы реализуемого радиолокационного поля от потенциально возможного. К таким факторам относят: подстилающую поверхность; препятствия распространению радиоволн (неровности рельефа, лес, здания, сооружения); радиоэлектронные помехи (естественные и искусственные, активные и пассивные и т. д.). Результатом влияния перечисленных факторов является нарушение целостности поля наблюдения – образуются участки, не обеспеченные радиолокационным покрытием.

Оценка воздействия радиоэлектронных помех производится путем решения уравнения радиоэлектронного подавления радиолокационной станции. Оно дает возможность аналитически определять форму и размеры зоны подавления радиолокационной станции в складывающейся радиоэлектронной обстановке [1].

Восстановление нарушенной непрерывности радиолокационного поля возможно путем усложнения процесса подавления развертыванием дополнительных радиолокационных станций, использующих зондирующие сигналы с несущими частотами, лежащими в разных диапазонах, и различными видами модуляции. Данная мера требует затраты значительных денежных средств.

Для повышения устойчивости поля наблюдения к помеховому воздействию предлагается комплексное применение радиолокационных станций и оптико-электронных средств. Элементы оптико-электронного сегмента системы наблюдения не будут подвержены воздей-

ствию помех, действующих в радиодиапазоне, а значит, их применение позволит получить данные об обстановке на участке, где радиолокационное поле подавлено.

Большой выбор оптико-электронных средств определяется использованием различных диапазонов длин волн, применяемых способов обзора и величинами тактико-технических, эксплуатационных характеристик.

Одной из задач, которую необходимо решить для эффективного комплексирования средств наблюдения радиолокационного и оптико-электронного диапазонов, является определение состава оптико-электронного сегмента. Исходными данными для решения такой задачи будут физико-географические условия района предназначения и тактико-технические характеристики оптико-электронных средств.

Результатом решения данной задачи будет такое оптико-электронное средство, тактико-технические характеристики которого будут наиболее реализуемы в условиях района предназначения.

Указанная задача относится к задачам многокритериальной оптимизации, и для ее решения предлагается модификация классического метода анализа иерархий с использованием не только экспертных оценок, но и численных параметров.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из этапов принятия решения на применение организационно-технических систем является определение состава сил и средств для выполнения поставленной задачи. Выделенное средство должно по своим характеристикам наилучшим образом соответствовать условиям применения. Те характеристики средства, по которым оценивается степень его соответствия условиям выполнения конкретной задачи, будем считать критически важными. Это означает, что необходимо сравнить между собой все предложенные к выбору средства по всем критически важным характеристикам. В рамках настоящей работы принято во внимание десять критически важных характеристик ($M=10$), а именно: температурная чувствительность, минимальная освещенность, скорость вращения по азимуту, скорость вращения по углу места, класс пылезащиты, класс водозащиты, ветроустойчивость, защита от обледенения, автономность, количество диапазонов. В ходе такого множественного сравнения возникает проблема оценки важности той или иной характеристики и определения наилучшей совокупности характеристик. Необходимо принять решение о выборе типа оптико-электронного средства.

Пусть имеется N типов оптико-электронных средств, каждый из которых обладает совокупностью (вектор $\overline{W}_{\langle M \rangle j}$) технических и эксплуатационных характеристик. Здесь $j \in J$ – номер типа средства, $J = \overline{1, N}$ – множество номеров типов средств, M – количество критически важных характеристик, $I = \overline{1, M}$ – множество номеров характеристик, $j \in I$ – номер характеристики.

Пусть важность характеристик установлена мнением экспертной группы и определена вектором весов $\overline{\Omega}_{\langle M \rangle} = [\omega_1, \dots, \omega_M]^T$.

Значения критически важных характеристик заданы матрицей $W_{[N, M]} = [W_{\langle M \rangle 1}, \dots, W_{\langle M \rangle N}]^T$ размерности $N \times M$.

Целевая функция задана выражением

$$Y^{[j]}(\overline{W}, \overline{\Omega}) = Y_{W_{\langle M \rangle}}^{[j]}(\overline{W}_{\langle M \rangle j}) \cdot Y_{\Omega_{\langle M \rangle}}(\overline{\Omega}_{\langle M \rangle})$$

где $Y^{[j]}$ – скалярная функция, характеризующая качество решения задачи мониторинга воздушного пространства (вероятность обнаружения);

- $Y_{W_{(M)}}^{[j]}$ – вектор-функция размерности M , характеризующая приведенные значения технических и эксплуатационных характеристик средств;
- $Y_{\Omega_{(M)}}^{[j]}$ – вектор-функция размерности M , характеризующая влияние технических и эксплуатационных характеристик средств на показатель качества решения задачи мониторинга воздушного пространства.

Требуется определить значения вектор-функций $Y_{W_{(M)}}^{[j]}$ и $Y_{\Omega_{(M)}}^{[j]}$, а также номер j^* средства, для которого реализуется

$$j^* = \arg \max_{j \in J} Y_{W_{(M)}}^{[j]}(\overline{W}_{(M)}) \cdot Y_{\Omega_{(M)}}^{[j]}(\overline{\Omega}_{(M)}). \quad (1)$$

АНАЛИЗ ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Сформулированная задача относится к так называемым задачам фильтрации множества альтернатив и оценки их предпочтительности. Такие типовые задачи принято решать с использованием методов экспертных оценок и критериальных методов. Методы экспертного оценивания относятся к инструментарию количественной оценки качества альтернатив в условиях слабоформализуемой проблемной ситуации, а экспертные оценки – это качественные оценки, основанные на информации неколичественного (качественного) характера, которые могут быть получены только с помощью специалистов – экспертов. Методами экспертного оценивания являются: метод простой ранжировки, метод непосредственной оценки, метод парных сравнений и др. Критериями называют показатели, характеризующие общую ценность решений. Критериальный язык позволяет оценить результат действия каждой альтернативы с помощью критерия (конкретного числа), а затем провести сравнение этих критериев. Наилучшей альтернативой является та, которая обладает наибольшими (наименьшими) значениями критерия. Многочисленные методы принятия решений по многим критериям различаются способом перехода к единой оценке полезности альтернатив. Среди этих методов можно выделить: прямые методы, методы порогов несравнимости, методы компенсации и др. [2].

Проблема многокритериального выбора возникает при наличии объектов, описываемых множеством из M характеристик:

$$O_i \rightarrow A_i^{[j]}, i \in \overline{1, M}, \quad (2)$$

где $A_i^{[j]}$ – i -я характеристика j -го объекта, $j \in \overline{1, N}$.

Известна и хорошо описана в литературе проблема ранжирования этих объектов по одной из i -х характеристик:

$$O_1 \succ O_2 \succ O_3 \succ \dots, \text{ если} \\ A_1^{[j]} \succ A_2^{[j]} \succ A_3^{[j]} \succ \dots, \quad (3)$$

где O_i – объекты, которые ранжируются на качественном уровне – «лучше» / «хуже»;

$A_i^{[j]}$ – характеристики, которые сравниваются по выбранному критерию «более пригодно».

Проблема заключается в том, что в общем случае нельзя получить совпадающее ранжирование по всем выбранным характеристикам. То есть существует множество иерархий

$$O_1^{(k)} \succ O_2^{(k)} \succ O_3^{(k)} \succ \dots, k \in K, \quad (4)$$

где K – множество критериев ранжирования.

Таким образом, выбор по всем характеристикам оказывается невозможным.

Для решения данного противоречия в настоящее время известны две глобальные альтернативы – применение принципа Парето или обеспечение свертки всех характеристик в одну (две) обобщенные [3]:

$$Z = \sum_{i=1}^M \omega_i \cdot A_i, \quad (5)$$

где ω_i – коэффициент свертки i -й характеристики.

В последнем случае возникает дополнительная проблема поиска коэффициентов свертки.

Решаемая задача отличается наличием набора альтернатив, описываемых количественными характеристиками, и сложностью агрегирования этих характеристик в общую оценку полезности альтернатив. Следовательно, необходимо решить две частные задачи:

1. Определение вектора $\tilde{W}_{(M),j}$ значений критически важных характеристик j -го средства.
2. Определение вектора $\tilde{\Omega}_{(M)}$ весов критически важных характеристик.

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

Метод анализа иерархий (МАИ) позволяет реализовать систематическую процедуру для иерархического представления элементов, определяющих возможность достижения цели. Метод состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решения, по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень взаимодействия элементов в иерархии. Каждый элемент иерархии может представлять различные аспекты решаемой задачи, причем во внимание могут быть приняты как материальные, так и нематериальные факторы, измеряемые количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертные оценки [4]. Эти суждения затем выражаются численно. МАИ позволяет реализовать процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности показателей и нахождения альтернативных решений.

Для реализации процедуры экспертного оценивания необходимо сформировать группу экспертов. Общим требованием при формировании группы экспертов является эффективное решение проблемы, которая определяется характеристиками достоверности экспертного оценивания. Достоверность экспертного оценивания может быть определена только на основе практического решения проблемы и анализа ее результатов.

Достоверность группового экспертного оценивания зависит от следующих факторов [5]:

- общего числа экспертов в группе;
- долевого состава различных специалистов;
- характеристики экспертов.

В качестве основных характеристик отбора можно назвать следующие:

1. Уровень компетентности эксперта в данной предметной области, показателями которого в совокупности являются:
 - уровень и профиль образования;
 - профиль работы (связь с данной предметной областью);
 - опыт работы по профилю (общий стаж работы по профилю и стаж работы непосредственно в данной предметной области);
 - уровень решаемых проблем (соответствие занимаемой должности характеру и уровню возникшей проблемы);
 - количество и качество ранее выполненных экспертиз (например, сбывшиеся прогнозы).
2. Креативность.
3. Отношение к экспертизе.
4. Конформизм.

5. Аналитичность и широта мышления.
6. Конструктивность мышления.
7. Коллективизм.
8. Самокритичность.

Перечисленные характеристики в основном оцениваются качественно, но для ряда характеристик делаются попытки ввести количественные оценки. Однако их анализ требует очень кропотливой и трудоемкой работы по сбору информации и ее изучению. Кроме того, часть характеристик эксперта, как правило, является положительной, а часть – отрицательной. Возникает проблема согласования характеристик между собой. Причем, чем больше характеристик принимается во внимание, тем труднее принять решение о том, что важнее и что допустимо для эксперта.

Для устранения указанного противоречия сформулирована обобщенная характеристика эксперта, учитывающая его важнейшие качества, с одной стороны, и допускающая непосредственное измерение, с другой стороны. В качестве такой характеристики можно принять достоверность суждений эксперта. Именно эта характеристика определяет эксперта как «измерительный прибор». Однако применение такой обобщенной характеристики требует информации о прошлом опыте участия эксперта в решении проблем. В ряде случаев такой информации может не быть (например, если эксперт впервые принимает участие в решении задачи).

Количественно достоверность суждений эксперта оценивают по формуле

$$D = B / B_o, \quad (6)$$

где B – число случаев, когда эксперт дал решение, приемлемость которого подтвердилась практикой;

B_o – общее число случаев участия эксперта в решении проблемы.

Перечисленные характеристики эксперта достаточно полно описывают необходимые качества, которые влияют на успешность решения задачи экспертного оценивания [6].

Схему решаемой задачи можно представить в виде иерархической структуры (рис. 1).



Рис 1. Иерархическая структура задачи выбора

Таким образом, определены N альтернатив A (средства) и M показателей K (тактико-технические и эксплуатационные характеристики средств).

Зафиксируем нижний (третий) уровень иерархии, содержащий альтернативы A_1, \dots, A_N , и один показатель K_1 – характеристику №1 на втором уровне иерархии.

Элементами $a_{ji}^{[i]}$ матрицы сравнения альтернатив являются отношения значений характеристик w средств по зафиксированному показателю K_1 :

$$a_{ji}^{[i]} = w_{ji} / w_{li}, \quad (7)$$

где w_{ji} – значение i -й характеристики j -го средства, $i \in \overline{1, M}$, $j \in \overline{1, N}$;

w_{li} – значение i -й характеристики l -го средства, $i \in \overline{1, M}$, $l \in \overline{1, N}$.

В таблице, содержащей рассматриваемую матрицу, приводятся также значения компонентов собственного вектора $W_j^{[i]}$, нормализованных компонентов собственного вектора $W_{jn}^{[i]}$ и максимального собственного числа λ_{\max} полученной матрицы [7]:

$$W_j^{[i]} = \sqrt[N]{\prod_{l=1}^N a_{jl}^{[i]}}; \quad (8)$$

$$W_{jn}^{[i]} = W_j^{[i]} / S, \quad (9)$$

где S – сумма $W_j^{[i]}$, $i \in \overline{1, M}$, $j \in \overline{1, N}$;

$$\lambda_{\max} = S^T \langle N \rangle \cdot W_n^{[i]}. \quad (10)$$

Здесь $S^T \langle N \rangle$ – вектор-строка, элементами которого являются сумма $a_{ji}^{[i]}$, $i \in \overline{1, M}$, $j \in \overline{1, N}$.

Аналогичным образом строятся матрицы парных сравнений элементов A_1, \dots, A_N относительно показателей K_2, \dots, K_M . Полученные нормализованные компоненты собственного вектора $W_{jn}^{[i]}$ являются элементами вектора-строки $Y_{W_{(M)}}^{[j]}$ значений критически важных характеристик каждого j -го средства.

Матрица парных сравнений для второго уровня иерархий, элементами которой являются отношения весов критически важных характеристик, строится по тому же правилу. Полученные нормализованные компоненты собственного вектора $\overline{\Omega}_{i \langle M \rangle}$ являются элементами вектора $Y_{\Omega_{(M)}}$ весов критически важных характеристик.

После построения и обработки матрицы парных сравнений для второго уровня иерархий целесообразно выполнить проверку согласованности суждений. В качестве меры согласованности элементов матрицы показателей в рамках применяемого метода используется индекс согласованности ИС (consistency index). Для оценки приемлемости степени согласованности элементов матрицы используется отношение согласованности ОС (consistency ratio):

$$\text{ИС} = (\lambda_{\max} - N) / (N - 1), \quad (11)$$

$$\text{ОС} = \text{ИС} / \text{СС}, \quad (12)$$

где СС – случайная величина среднего значения индекса согласованности.

Для определения величины отношения согласованности используется среднее значение индекса согласованности как случайной величины СС, полученное экспериментально в результате обработки большого количества сгенерированных случайным образом матриц парных сравнений. Для матрицы 10-го порядка было получено значение СС = 1,49. В рамках МАИ полученное значение ОС должно быть менее 0,1.

На заключительном этапе анализа выполняется синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате которого вычисляются глобальные приоритеты альтернативных решений относительно главной цели:

$$Y^{[j]} = Y_{W_{(M)}}^{[j]} \cdot Y_{\Omega_{(M)}}, \quad (13)$$

где $Y^{[j]}$ – значение глобального приоритета j -го средства, $j = \overline{1, N}$. Лучшей считается альтернатива с максимальным значением глобального приоритета.

ВЫБОР ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ

Согласно поставленной задаче необходимо принять решение на выбор из десяти имеющихся типов оптико-электронных средств такого типа, который по десяти своим тактико-техническим характеристикам наиболее адекватно отвечает условиям, предъявляемым районном мониторинга воздушного пространства и параметрами обнаруживаемого летательного аппарата. Значит, $N=M=10$.

Оптико-электронные средства (ОЭС) описаны набором критически важных характеристик: температурной чувствительностью, минимальной освещенностью, скоростью вращения по азимуту, скоростью вращения по углу места, классом пылезащиты, классом водозащиты, ветроустойчивостью, защитой от обледенения, автономностью, количеством диапазонов (табл. 1).

Таблица 1

Технические и эксплуатационные характеристики средств наблюдения

Средство наблюдения	Температурная чувствительность, мК (K_1)	Освещенность, Лк (K_2)	Скорость вращения по азимуту, град/с (K_3)	Скорость вращения по углу места, град/с (K_4)	Класс пылезащиты (K_5)	Класс водозащиты (K_6)	Ветроустойчивость, м/с (K_7)	Защита от обледенения (K_8)	Автономность, сут (K_9)	Количество диапазонов (K_{10})
1	20	0,2	180	180	5	4	25	1	5	3
2	23	0,2	100	100	4	1	20	1	7	3
3	25	0,25	130	130	5	1	30	0	7	2
4	22	0,1	180	180	6	3	15	1	4	3
5	24	0,3	150	150	5	4	20	0	5	3
6	22	0,22	200	200	4	2	20	0	3	2
7	21	0,18	220	220	6	2	25	0	10	2
8	20	0,15	160	160	6	3	18	1	8	2
9	24	0,3	120	120	5	1	23	1	4	3
10	21	0,2	140	140	4	4	20	0	6	2

Используя аналитические зависимости (7)–(10), построим матрицу парных сравнений альтернатив $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ относительно показателя K_1 (табл. 2).

Матрицы парных сравнений альтернатив $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ относительно показателей K_2, K_3, \dots, K_M строятся аналогичным образом.

Матрица парных сравнений для второго уровня иерархий (табл. 3), элементами которого являются показатели $K_1, K_2, K_3, \dots, K_m$, строится с использованием аналитических зависимостей (7)–(12).

Таблица 2

Матрица парных сравнений элементов $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$ относительно показателя K_1

Средство наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Компоненты СВ	Нормализованные компоненты СВ
1	1,000	0,870	0,800	0,909	0,833	0,909	0,952	1,000	0,833	0,952	0,903	0,090
2	1,150	1,000	0,920	1,045	0,958	1,045	1,095	1,150	0,958	1,095	1,039	0,104
3	1,250	1,087	1,000	1,136	1,042	1,136	1,190	1,250	1,042	1,190	1,129	0,113
4	1,100	0,957	0,880	1,000	0,917	1,000	1,048	1,100	0,917	1,048	0,994	0,099
5	1,200	1,043	0,960	1,091	1,000	1,091	1,143	1,200	1,000	1,143	1,084	0,108
6	1,100	0,957	0,880	1,000	0,917	1,000	1,048	1,100	0,917	1,048	0,994	0,099
7	1,050	0,913	0,840	0,955	0,875	0,955	1,000	1,050	0,875	1,000	0,949	0,095
8	1,000	0,870	0,800	0,909	0,833	0,909	0,952	1,000	0,833	0,952	0,903	0,090
9	1,200	1,043	0,960	1,091	1,000	1,091	1,143	1,200	1,000	1,143	1,084	0,108
10	1,050	0,913	0,840	0,955	0,875	0,955	1,000	1,050	0,875	1,000	0,949	0,095
Сумма по столбцу СВ	11,10	9,652	8,880	10,091	9,250	10,091	10,571	11,100	9,250	10,57	10,028	-
Максимальное собственное число												10

Таблица 3

Матрица парных сравнений показателей K

Сравнение критериев	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Компоненты СВ	Нормализованные компоненты СВ
1	1	1	1	1	2	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1,072	0,073
2	1	1	1	1	2	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1,072	0,073
3	1	1	1	1	2	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1,072	0,073
4	1	1	1	1	2	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1,072	0,073
5	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/6	1/6	1/6	1/2	1/6	1,000	0,068
6	3	3	3	3	6	1	1	1	3	1	2,072	0,141
7	3	3	3	3	6	1	1	1	3	1	2,072	0,141
8	3	3	3	3	6	1	1	1	3	1	2,072	0,141
9	1	1	1	1	2	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1,072	0,073
10	3	3	3	3	6	1	1	1	3	1	2,072	0,141
Сумма по столбцу СВ	17	17	17	17	35	4	4	4	16	4	14,647	-
Максимальное собственное число												10,800
Индекс согласованности												0,089
Отношение согласованности												0,060

Используя данные матриц парных сравнений альтернатив, матриц парных сравнений показателей и аналитическую зависимость (13), рассчитаем глобальные приоритеты (табл. 4).

Таблица 4

Результаты расчета глобальных приоритетов

W_{1n}	W_{2n}	W_{3n}	W_{4n}	W_{5n}	W_{6n}	W_{7n}	W_{8n}	W_{9n}	W_{10n}	$Y_{\Omega(w)}$	$Y^{[j]}$
0,090	0,095	0,114	0,114	0,100	0,160	0,116	0,223	0,085	0,120	0,073	0,131
0,104	0,095	0,063	0,063	0,080	0,040	0,093	0,223	0,119	0,120	0,073	0,105
0,113	0,119	0,082	0,082	0,100	0,040	0,139	0,048	0,119	0,080	0,073	0,088
0,099	0,048	0,114	0,114	0,120	0,120	0,069	0,179	0,068	0,120	0,073	0,110
0,108	0,143	0,095	0,095	0,100	0,160	0,093	0,039	0,085	0,120	0,068	0,103
0,099	0,105	0,127	0,127	0,080	0,080	0,093	0,039	0,051	0,080	0,141	0,084
0,095	0,086	0,139	0,139	0,120	0,080	0,116	0,039	0,169	0,080	0,141	0,099
0,090	0,071	0,101	0,101	0,120	0,120	0,083	0,093	0,136	0,080	0,141	0,098
0,108	0,143	0,076	0,076	0,100	0,040	0,106	0,093	0,068	0,120	0,073	0,092
0,095	0,095	0,089	0,089	0,080	0,160	0,093	0,025	0,102	0,080	0,141	0,090

Графически результаты расчета глобальных приоритетов представлены на диаграмме (рис. 2).

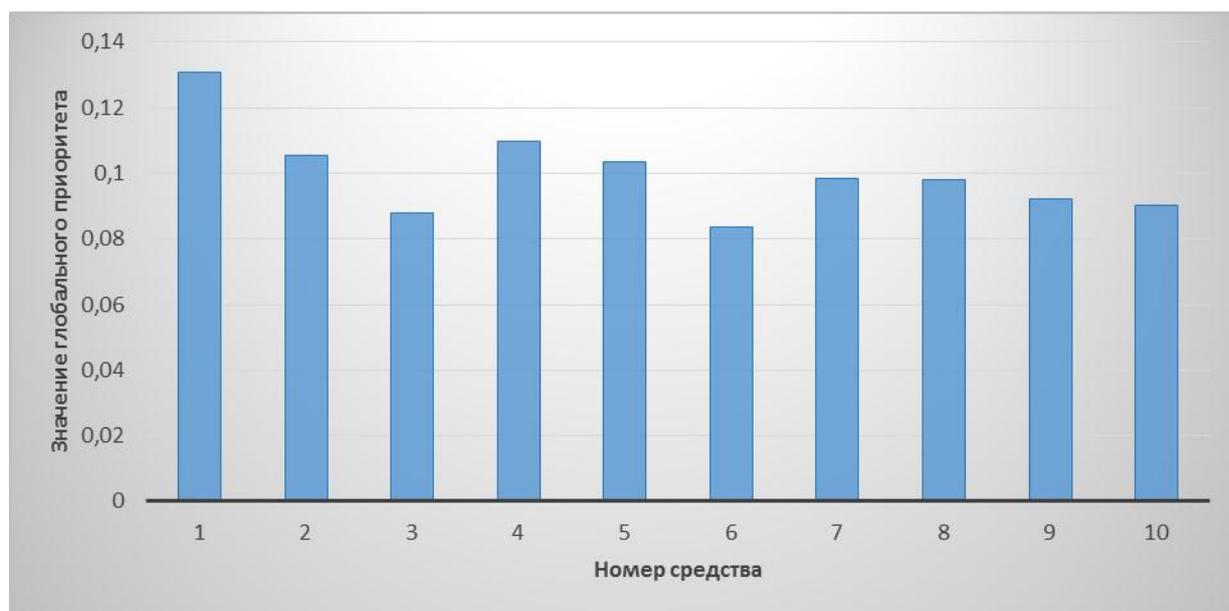


Рис 2. Результаты расчета глобальных приоритетов

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что максимальное значение глобального приоритета, равное 0,131, получено для оптико-электронного средства под номером 1. Значит, решение о его выделении наиболее адекватно отвечает требованиям, обусловленным географическим расположением района мониторинга воздушного пространства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отличием предложенной методики от уже известных является совмещение описания альтернатив наборами объективных количественных характеристик и выражения критерия до-

стижения цели через экспертные оценки, дающие возможность определить совокупную важность набора характеристик.

В методе анализа иерархий присутствует существенная доля субъективных предпочтений. Данный факт делает окончательный выбор не вполне достоверным. Обычный метод повышения достоверности выбора требует дополнительных процедур обеспечения достоверности экспертных оценок (увеличение численности экспертных групп, ужесточение отбора экспертов и др.). Предложенная методика позволяет снизить субъективность выбора путем замены экспертных оценок в описании возможностей альтернатив на нижнем уровне иерархии объективными количественными характеристиками.

Следует отметить, что данный способ применим только в том случае, когда для всех характеристик справедлив критерий «больше – лучше». Если же хотя бы к одному элементу набора критически важных характеристик будет справедлив критерий «меньше – лучше», то потребуются дополнительная процедура нормирования характеристик по общему критерию.

Усовершенствование предложенной методики возможно путем усложнения иерархии за счет введения дополнительных уровней при группировании характеристик или при достижении цели путем решения промежуточных задач.

Список используемых источников

1. *Вакин С.А., Шустов Л.Н.* Основы радиоэлектронной борьбы. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1998. – 436 с.
2. *Трофимова Л.А., Трофимов В.В.* Управленческие решения (методы принятия и реализации): учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2011. – 190 с.
3. *Подиновский В.В., Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.
4. *Новицкий П.В., Зограф И.А.* Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Электроатомиздат, 1991. – 304 с.
5. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
6. *Гарифулин А.Ф.* Экспертное оценивание при разработке эффективной стратегии // Справочник экономиста. – 2013. – №8. – С.96.
7. *Рязанцев В.И., Морозов А.В.* Методика проведения согласования экспертных оценок, полученных путем индивидуального анкетирования методом анализа иерархий. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана // Инженерный вестник. – 2014. – №12. – URL: <http://engsi.ru/doc/742182> (дата обращения: 12.07.2017).

А.П. Доронин,
доктор техн. наук, профессор;
Н.А. Козлова;
А.Б. Лебедев,
кандидат техн. наук;
В.М. Петроченко,
кандидат техн. наук, доцент;
С.А. Шмалько

ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВОДНОСТИ И ВОДОЗАПАСОВ ВОЛНИСТООБРАЗНЫХ И СЛОИСТООБРАЗНЫХ ОБЛАКОВ НАД ЦЕНТРАЛЬНЫМ РАЙОНОМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На основе обработки материалов самолетного зондирования атмосферы над Москвой рассматриваются эмпирические модели водности и водозапаса волнистообразных и слоистообразных (ВОБЛ и СОБЛ) облаков над центральным районом Европейской территории России (ЕТР). Полученные данные могут использоваться при планировании, подготовке и проведении операций по воздействию на ВОБЛ и СОБЛ с целью вызывания (интенсифицирования) осадков, а также рассеяния (стабилизации) облачного покрова в интересах решения широкого круга прикладных задач.

Ключевые слова: слоистообразные и волнистообразные облака, модифицирование, самолетное зондирование атмосферы, водность и водозапас облаков.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с генетической классификацией облаков к *волнистообразным* относятся следующие их формы: перисто-кучевые (Сс), высоко-кучевые (Ас), слоисто-кучевые (Sc) и слоистые (St), а к *слоистообразным* – слоисто-дождевые (Ns), высоко-слоистые (As) и перисто-слоистые (Cs) [1]. Практика работ по воздействию на волнистообразные и слоистообразные облака (исключая перисто-кучевые и перисто-слоистые) показала, что основными целями таких работ являются следующие: вызывание искусственных и интенсифицирование естественных осадков, рассеяние облаков и их стабилизация [2–4].

Интерес к ВОБЛ и СОБЛ обусловлен главным образом следующими обстоятельствами [2–4]:

- во-первых, они являются наиболее часто встречающимися формами облаков в различных физико-географических районах (ФГР) нашей страны;
- во-вторых, облака этих форм имеют значительную горизонтальную протяженность (сотни километров и более) и большую продолжительность существования над пунктом (часы – десятки часов);
- в-третьих, с облаками этих форм связано наличие ряда опасных явлений погоды (плохая видимость в облаках, обледенение, осадки, низкая высота нижней границы облаков и др.), оказывающих существенное влияние на деятельность многих отраслей экономики страны;
- в-четвертых, воздействие на облака этих форм позволяет решать широкий круг хозяйственных и экологических задач;
- в-пятых, применение методов и средств воздействия на ВОБЛ и СОБЛ может привести к значительной экономической выгоде (отношение доходов и расходов оценивается в среднем как 1:10).

С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что актуальной становится задача по исследованию различных характеристик ВОБЛ и СОБЛ в конкретных ФГР применительно к

проблеме модифицирования. Среди этих характеристик важными являются данные о водности и водозапасах облаков.

В качестве исследуемого района в настоящей работе выбран центральный район ЕТР, что обусловлено необходимостью решения широкого круга экологических и хозяйственных задач (например: проведение экологического мониторинга, очищение воздушного бассейна Москвы, проведение поисково-спасательных работ, тушение лесных пожаров и др.).

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДИКА ЕГО ОБРАБОТКИ

Сведения о водности облаков различных форм представлены в ряде фундаментальных справочников [5, 6] и монографий [7, 8]. В отдельных работах данные о водности облаков приводятся для конкретных районов, например: Украины [9], Средней Азии [10], Казахстана [11].

Вместе с тем исследований, содержащих детальные сведения о водности и водозапасах ВОБЛ и СОБЛ над центральным районом ЕТР применительно к проблеме модифицирования (МОДИФ), практически нет. С целью восполнения данного пробела авторами выполнена обработка материалов самолетного зондирования атмосферы (СЗА) ТАЭ-7,7м (5870 подъемов самолета-зондирующего) над Москвой за период 1953–1964 годов. Выбор данного исходного материала за указанный период обусловлен тем, что именно в это время в нашей стране проводилось регулярное самолетное зондирование атмосферы (два раза в сутки на 28 станциях страны) с целью получения конкретных характеристик различных видов облачности в определенных физико-географических районах. Следует отметить, что самые точные и надежные характеристики облаков (включая и значения водности и водозапасов) могут быть получены лишь с помощью самолетного зондирования. Никакими другими способами такую высокую точность измерения характеристик облаков достичь невозможно.

Регулярное самолетное зондирование атмосферы было прекращено в нашей стране в середине шестидесятых годов прошлого столетия, и до настоящего времени оно не возобновлялось. В связи с этим авторы статьи сочли возможным использовать имеющиеся в нашей стране материалы самолетного зондирования для получения эмпирических характеристик облаков (включая и значения водности и водозапасов).

Данные, полученные для Москвы, считались репрезентативными для центральных районов России в соответствии с результатами исследований пространственной изменчивости характеристик волнистообразной и слоистообразной облачности [12]. Как показано в упомянутой работе, данные о характеристиках облачности могут быть распространены на значительные площади (десятки тысяч квадратных километров) без существенных временных изменений. В таких пределах эффекты анизотропности и неоднородности структуры облачных полей, по крайней мере в первом приближении, могут не учитываться [13]. В этом смысле данные для одного пункта, над которым располагается центральная часть облачного массива, могут считаться репрезентативными и показательными для всего рассматриваемого района.

При анализе материалов СЗА к волнистообразным облакам были отнесены сплошные одно- и многослойные слоистые (St) и слоисто-кучевые (Sc) облака, наблюдающиеся как отдельно, так и в сочетании с высоко-кучевыми (Ac) облаками.

При определении СОБЛ рассматривались два класса облаков. К первому относились слоисто-дождевые облака (Ns), наблюдающиеся как отдельно, так и в сочетании с другими формами облаков, включая и высоко-слоистые (As). Ко второму классу относились высоко-слоистые (As) облака, наблюдающиеся как отдельно, так и в сочетании с другими формами облаков (исключая Ns).

Исследования характеристик ВОБЛ проводились отдельно по формам облачности. Изучение характеристик СОБЛ осуществлялось, как правило, отдельно для теплого (апрель–сентябрь) и холодного (октябрь–март) полугодий, в ВОБЛ – по сезонам и полугодиям.

Привлечение материалов СЗА для выполнения настоящей работы объясняется тем, что наиболее надежные данные о характеристиках облаков разных форм (включая, разумеется, данные о водности и водозапасах) можно получить именно с их помощью [15].

МОДЕЛИ ВОДНОСТИ И ВОДОЗАПАСОВ ВОЛНИСТООБРАЗНЫХ И СЛОИСТООБРАЗНЫХ ОБЛАКОВ НАД ЦЕНТРАЛЬНЫМИ РАЙОНАМИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Водность облаков (q) – это масса капель воды и кристаллов льда, из которых состоят облака, в единичном объеме (г/м^3).

Водозапас облака (p) – содержание жидкой воды или льда в вертикальном столбе единичного сечения от основания до вершины облака (г/м^2) [1].

Данные о водности облаков различных форм и их водозапасах необходимы для оценивания возможности засева с целью рассеяния облачного покрова, восстановления облаков, а также расчета возможного количества искусственных осадков.

В табл. 1 и 2 приведены результаты статистической обработки материалов СЗА по водности слоистых, слоисто-кучевых облаков над Москвой. Анализ приведенных в этих таблицах данных позволяет сделать следующие выводы. Среднесуточные значения водности слоистых и слоисто-кучевых облаков характеризуются их возрастанием от холодного полугодия к теплоту. Так, для Sc облаков летом они составляют $0,32 \text{ г/м}^3$, а для St облаков осенью – $0,33 \text{ г/м}^3$. Отсутствие данных об измерениях водности в St облаках летом не позволяет сделать однозначный вывод об их повышенных значениях в этот период. Вместе с тем можно полагать, что отмеченная тенденция увеличения значений водности в Sc облаках будет в полной мере справедлива и для St облаков. В пользу этого могут свидетельствовать приведенные в табл. 1 данные о водности St облаков весной и осенью, составляющие $0,30 \text{ г/м}^3$ и $0,33 \text{ г/м}^3$. Для слоисто-кучевых облаков значения водности для этих сезонов равны $0,21 \text{ г/м}^3$ и $0,27 \text{ г/м}^3$ соответственно. Самые низкие значения водности для обеих форм волнистообразных облаков отмечаются зимой, составляя $0,17 \text{ г/м}^3$ – для слоисто-кучевых облаков и $0,25 \text{ г/м}^3$ – для слоистых облаков.

В целом значения водности St и Sc облаков изменяются в широких пределах – от $0,01 \text{ г/м}^3$ до $0,85 \text{ г/м}^3$ (табл.2).

Следует учесть, что чаще всего St облака наблюдаются зимой со значениями водности в диапазоне $0,11–0,20 \text{ г/м}^3$ (38,4%), а Sc облака в этот период имеют в основном значения водности в диапазонах $0,11–0,20 \text{ г/м}^3$ (43,0%) и $0,01–0,10 \text{ г/м}^3$ (28,0%). Весной значения водности St облаков чаще всего находятся в диапазоне $0,01–0,10 \text{ г/м}^3$ (30,0%), а для облаков Sc – в градации $0,11–0,20 \text{ г/м}^3$ (39,4%). Осенью в большинстве случаев встречаются волнистообразные облака со значениями водности в диапазонах $0,11–0,20 \text{ г/м}^3$ (20,5%), $0,31–0,40 \text{ г/м}^3$ (24,2%) и $0,21–0,30 \text{ г/м}^3$ (19,3%) для St облаков и в диапазонах $0,11–0,20 \text{ г/м}^3$ (32,7%) для Sc облаков. Летом для Sc облаков значения водности находятся в диапазонах: $0,21–0,30 \text{ г/м}^3$ (36,3%); $0,11–0,20 \text{ г/м}^3$ (18,2%) и $0,61–0,70 \text{ г/м}^3$ (18,2%).

Слоистые и слоисто-кучевые облака со значениями водности менее $0,05 \text{ г/м}^3$ и более $0,6 \text{ г/м}^3$ встречаются не часто. В первом случае на долю таких облаков приходится от 1,4 до 5,9% для St облаков и от 0,7 до 6,0% для Sc облаков (в зависимости от сезона), во втором – от 5,9 до 12,4% для St облаков и от 1,1 до 18,2% для Sc облаков (в зависимости от сезона).

Таблица 1

Средние значения водности (г/м^3) слоистых и слоисто-кучевых облаков над Москвой

Форма облаков	Сезон								Полугодие			
	Зима	Число случаев	Весна	Число случаев	Лето	Число случаев	Осень	Число случаев	Холодное полугодие	Число случаев	Теплое полугодие	Число случаев
St	0.25 ---(52.0) 0.13	73	0.30 ---(70.0) 0.21	17	-	-	0.33 ---(57.6) 0.19	83	0.27 ---(59.3) 0.16	15 2	0.43 ---(58.1) 0.25	21
Sc	0.17 ---(58.8) 0.10	206	0.21 ---(66.7) 0.14	94	0.32 ---(53.1) 0.17	11	0.27 ---(66.7) 0.18	129	0.17 ---(52.9) 0.09	34 7	0.27 ---(59.3) 0.16	93

Примечание. Здесь и в табл. 3, 5, 6 – в числителе приведены средние значения водности облаков, в знаменателе – их среднеквадратические отклонения, а в скобках – значения коэффициентов вариации.

Таблица 2

Повторяемость значений водности (г/м^3) слоистых и слоисто-кучевых облаков над Москвой по градациям

Сезон, полугодие	Формы облаков	Повторяемость (%) значений водности (г/м^3) по градациям									\bar{q}	σ_q	$\sigma_{\bar{q}}$	σ_{σ_q}	Число случаев
		0,01–0,10	0,11–0,20	0,21–0,30	0,31–0,40	0,41–0,50	0,51–0,60	0,61–0,70	0,71–0,80	0,81–0,90					
Зима	St	9,6	38,4	21,9	15,1	9,6	5,4	0	0	0	0,25	0,13	0,015	0,011	73
	Sc	28,0	43,0	18,4	6,4	4,2	0	0	0	0	0,17	0,10	0,007	0,005	206
Весна	St	30,0	11,8	11,8	17,7	5,9	17,7	0	5,1	0	0,30	0,21	0,053	0,037	17
	Sc	23,4	39,4	16,0	10,6	4,2	5,3	1,1	0	0	0,21	0,14	0,014	0,010	94
Лето	St	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
	Sc	9,1	18,2	36,3	9,1	9,1	0	18,2	0	0	0,32	0,17	0,053	0,036	11
Осень	St	8,4	20,5	19,3	24,2	10,8	4,8	6,0	4,8	1,2	0,33	0,19	0,021	0,015	83
	Sc	13,5	32,7	24,2	8,5	7,0	7,1	4,9	2,1	0	0,27	0,18	0,015	0,011	129
Холодное полугодие	St	12,3	28,6	20,7	20,1	7,9	6,5	2,6	1,3	0	0,27	0,16	0,013	0,009	152
	Sc	24,9	41,9	19,6	11,3	2,3	0	0	0	0	0,17	0,09	0,005	0,003	347
Теплое полугодие	St	0	14,3	19,0	23,8	19,0	4,8	4,8	4,8	9,5	0,43	0,25	0,054	0,038	21
	Sc	12,9	28,0	26,9	10,8	9,7	6,4	4,2	1,1	0	0,27	0,16	0,017	0,012	93

Примечание. Здесь \bar{q} – среднее значение водности, σ_q – среднее квадратическое отклонение, $\sigma_{\bar{q}}$ – ошибка среднего значения водности, σ_{σ_q} – ошибка среднеквадратического отклонения водности.

Отмеченные выше закономерности в распределении водности слоистых и слоисто-кучевых облаков в полной мере относятся и к распределению водозапасов, данные о которых приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Средние значения водозапаса ($\text{г}/\text{м}^2$) слоистых и слоисто-кучевых облаков над Москвой

Форма облаков	Сезон								Полугодие			
	Зима	Число случаев	Весна	Число случаев	Лето	Число случаев	Осень	Число случаев	Холодное полугодие	Число случаев	Теплое полугодие	Число случаев
St	110,0 ---(65,5) 72,0	52	123,0 ---(78,3) 96,3	11	-----	---	164,5 ---(66,9) 110,0	51	119,0 ---(63,9) 76,0	93	204,7 ---(69,8) 142,9	21
Sc	69,0 ---(72,5) 50,0	148	85,6 ---(90,3) 77,3	75	150,3 ---(90,9) 136,6	11	96,2 ---(73,9) 71,1	99	76,0 ---(78,9) 60,0	246	103,2 ---(77,8) 80,3	87

Значения водозапаса St и Sc облаков над рассматриваемым районом характеризуются их возрастанием от холодного полугодия к теплому, составляя для слоистых облаков $164,5 \text{ г}/\text{м}^2$ осенью и $150,3 \text{ г}/\text{м}^2$ летом. Зимой значения водозапаса значительно ниже, уменьшаясь до $110,0 \text{ г}/\text{м}^2$ для St облаков и до $69,0 \text{ г}/\text{м}^2$ для Sc облаков, а затем увеличиваясь весной до $123,0 \text{ г}/\text{м}^2$ и $85,6 \text{ г}/\text{м}^2$ соответственно (табл.3).

Таблица 4

Повторяемость значений водозапаса ($\text{г}/\text{м}^2$) слоистых и слоисто-кучевых облаков над Москвой по градациям

Сезон, полугодие	Формы облаков	Повторяемость (%) значений водозапаса ($\text{г}/\text{м}^2$) по градациям								\bar{p}	σ_p	$\sigma_{\bar{p}}$	σ_{σ_p}	Число случаев
		0,1–60	61–120	121–180	181–240	241–300	301–360	361–420	421–480					
Зима	St	31,3	37,3	9,8	17,6	2,0	2,0	0	0	110,0	72,0	10,2	7,2	52
	Sc	54,7	29,0	12,9	3,4	0	0	0	0	69,0	50,0	4,1	2,9	148
Весна	St	36,4	18,2	9,1	18,2	18,1	0	0	0	123,6	96,3	30,5	21,0	11
	Sc	52,0	21,3	12,0	8,0	5,4	1,3	0	0	85,6	77,3	9,0	6,3	75
Лето	St	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	Sc	36,4	18,2	0	27,3	9,0	0	0	9,1	150,3	136,6	43,2	29,8	11
Осень	St	13,7	23,5	25,3	21,6	4,0	4,0	2,0	5,9	164,5	110,0	15,6	11,0	51
	Sc	41,5	29,3	18,2	4,0	5,0	2,0	0	0	96,2	71,1	7,2	5,1	99
Холодное полугодие	St	26,9	31,1	16,1	19,4	5,4	1,1	0	0	119,0	76,0	7,9	5,6	93
	Sc	53,7	25,6	13,0	6,5	1,2	0	0	0	76,0	60,0	3,8	2,7	246
Теплое полугодие	St	9,5	28,3	19,0	23,6	0	4,9	4,9	9,8	204,7	142,9	31,2	21,8	21
	Sc	39,1	28,7	16,1	8,0	3,5	4,6	0	0	103,2	80,3	8,7	6,1	87

Примечание. Здесь \bar{p} – среднее значение водозапаса, σ_p – среднее квадратическое отклонение, $\sigma_{\bar{p}}$ – ошибка среднего значения водозапаса, σ_{σ_p} – ошибка среднеквадратического отклонения водозапаса.

Следует отметить, что для всех сезонов года значения водозапаса слоистых облаков больше, чем – для слоисто-кучевых. Это связано с тем, что значения влажности St облаков,

согласно данным табл.1, больше значений водности Sc облаков. Поэтому вполне очевидно, что при одинаковых значениях вертикальной протяженности St и Sc облаков значения водозапаса St облаков будут выше значений водозапаса Sc облаков.

Приведенные в табл. 5 данные о водности фронтальных слоистообразных облаков позволяют сделать следующие выводы. Видно, что средние значения водности в As облаках, как правило, всегда меньше значений водности в Ns облаках, при этом увеличение значений водности в обоих видах облаков отмечается от зимы к лету. Так, в теплое полугодие средние значения водности для Ns облаков составляют $0,32 \text{ г/м}^3$, для As облаков – $0,26 \text{ г/м}^3$, а в холодное полугодие – $0,22 \text{ г/м}^3$ и $0,16 \text{ г/м}^3$ соответственно.

Таблица 5

Средние значения водности (г/м^3) фронтальных слоистообразных облаков над Москвой

Сезон, полугодие	Формы облачности			
	Ns	Число случаев	As	Число случаев
Зима	0,17 ----- (52,9)	97	0,14 ----- (57,1)	9
	0,09		0,08	
Весна	0,26 ----- (61,5)	57	0,15 ----- (33,3)	12
	0,16		0,05	
Лето	0,31 ----- (38,7)	20	0,34 ----- (55,9)	9
	0,12		0,19	
Осень	0,29 ----- (48,3)	56	- --- -	---
	0,14			
Холодное полу- годие	0,22 ----- (68,2)	170	0,16 ----- (50,0)	15
	0,15		0,08	
Теплое полугодие	0,32 ----- (46,9)	60	0,26 ----- (69,2)	15
	0,15		0,18	

Что касается водозапаса фронтальных слоистообразных облаков, то в этом случае можно отметить ряд закономерностей на основе анализа данных, приведенных в табл. 6.

Таблица 6

Средние значения водозапаса (г/м^2) фронтальных слоистообразных облаков над Москвой

Сезон, полугодие	Формы облачности			
	Ns	Число случаев	As	Число случаев
Зима	260,4 ----- (84,1)	69	181,8 ----- (82,3)	7
	219,0		149,7	
Весна	273,4 ----- (76,6)	40	233,4 ----- (83,5)	7
	209,5		194,9	
Лето	482,6 ----- (79,4)	19	538,1 ----- (74,4)	8
	383,1		400,6	
Осень	400,1 ----- (87,6)	39	---	---
	350,4			

Окончание табл. 6

Сезон, полугодие	Формы облачности			
	Ns	Число случаев	As	Число случаев
Холодное полугодие	262,8	109	178,0	9
	----- 212,5		----- 164,9	
Теплое полугодие	431,7	58	408,1	13
	----- 364,9		----- 373,5	

Здесь (так же, как и в случае распределения водности) наблюдается увеличение значений водозапаса N_s и A_s облаков от зимы к лету. Так, например, в теплое полугодие их значения превышают величины 400 г/м^2 , тогда как в холодное полугодие они существенно ниже, снижаясь до 260 г/м^2 для N_s облаков и 180 г/м^2 для A_s облаков. Значения водозапаса A_s облаков, как правило, меньше значений водозапаса N_s облаков, что связано с разными значениями вертикальной протяженности облаков.

Так, согласно данным Л.С. Дубровиной [8], среднегодовые значения вертикальной протяженности N_s облаков составляют над территорией бывшего СССР $1,72 \text{ км}$, а A_s облаков – $0,99 \text{ км}$.

В целом значения водозапаса фронтальных слоистообразных облаков существенно выше значений водозапаса волнистообразных облаков (в среднем в 2–4 раза в зависимости от сезона). В силу этого обстоятельства становится очевидным, что воздействия на эти облака целесообразно проводить, главным образом, с целью вызывания (интенсифицирования) осадков или с целью их перераспределения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среднесезонные значения водности и водозапаса в волнистообразных и слоистообразных облаках характеризуются их увеличением от зимы к лету и изменяются в зависимости от сезона в указанных ниже пределах.

Водность облаков:

- слоистых – $0,25\text{--}0,33 \text{ г/м}^3$;
- слоисто-кучевых – $0,17\text{--}0,32 \text{ г/м}^3$;
- слоисто-дождевых – $0,17\text{--}0,31 \text{ г/м}^3$;
- высоко-слоистых – $0,14\text{--}0,34 \text{ г/м}^3$.

Водозапас облаков:

- слоистых – $110\text{--}165 \text{ г/м}^2$;
- слоисто-кучевых – $70\text{--}150 \text{ г/м}^2$;
- слоисто-дождевых – $260\text{--}480 \text{ г/м}^2$;
- высоко-слоистых – $180\text{--}540 \text{ г/м}^2$.

Анализируя полученные в работе значения водозапаса облаков, можно сделать вывод о том, что воздействия на волнистообразные облака целесообразно проводить, в основном, с целью их рассеяния, а на слоистообразные облака – с целью вызывания (интенсифицирования) осадков или их перераспределения. Кроме того, они могут быть использованы как для расчета количества искусственных осадков, расхода химических реагентов, применяемых для засева облаков, так и для уточнения физико-статистических моделей облаков в центральном районе Европейской территории России.

Список используемых источников

1. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / под ред. А.И. Бедрицкого, отв. составитель К.Ш. Хайруллин. – СПб.: Летний сад, 2008. – Т.1 – 334 с.; т.3. – 215 с.
2. *Половина И.П.* Рассеяние переохлажденных облаков и туманов. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 213 с.
3. *Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г.* Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 341 с.
4. *Доронин А.П.* Воздействия на атмосферные процессы и явления: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 293 с.
5. Облака и облачная атмосфера: справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 647 с.
6. Атмосфера: справочник (справочные данные, модели). – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 503 с.
7. *Мейсон Б.Дж.* Физика облаков. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 542 с.
8. *Дубровина Л.С.* Облака и осадки по данным самолетного зондирования. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 216 с.
9. *Леонов М.П., Перелет Г.И.* Активные воздействия на облака в холодное полугодие. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 152 с.
10. *Джураев А.Д., Курбаткин В.П., Ушинцев В.Ф.* Облачные ресурсы и возможности увеличения осадков в Средней Азии // Труды САРНИГМИ. – 1977. – Вып. 46(27). – 55 с.
11. *Титов Л.В.* Микроструктура и водность облаков над Северным Казахстаном // Сборник работ по региональной синоптике. – 1968. – Вып. 3. – С. 15–28.
12. *Сонечкин Д.М., Хандурова И.С.* Результаты исследования пространственной изменчивости облачности над Европейской частью СССР // Труды Гидрометцентра. – Л., 1969. – Вып. 50. – С. 37–46.
13. *Волкова В.И.* Вероятность сохранения состояний облачности через различные интервалы времени над отдельными районами Советского Союза // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – М., 1976. – Вып. 49. – С. 20–24.
14. *Упорова Л.П.* Непрерывная продолжительность общей облачности над территорией СССР // Труды Гидрометцентра. – Л., 1976. – Вып. 25. – С. 91–96.
15. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – М.: Гидрометеиздат, 1958. – Вып. 4, ч. IV. – 152 с.

А.М. Сухов

ПОДХОД К УПРЕЖДЕНИЮ КОМПЛЕКСНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Статья посвящена решению задачи обеспечения информационной безопасности (ИБ) критически важных объектов от комплексных компьютерных атак, в частности, приведены принципы классификации и систематизации типовых моделей и методов противодействия компьютерным вторжениям. В статье представлена структурная схема противодействия комплексным компьютерным атакам. Изложен подход к прогнозированию реализации сценария комплексных компьютерных атак в системе обеспечения информационной безопасности.

Ключевые слова: критически важный объект, информационная угроза, система обеспечения информационной безопасности, модель компьютерной атаки, комплексная компьютерная атака.

ВВЕДЕНИЕ

Информатизация критически важных объектов (КВО) и переход на IP-технологии определяют актуальность проблемы обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ) Российской Федерации (РФ) [4, 12]. Процесс информатизации обуславливает появление новых видов угроз информационной безопасности (ИБ), направленных прежде всего на системы управления и жизнеобеспечения КВО, которые наиболее подвержены комплексным компьютерным атакам (ККА). Повышенный уровень террористической угрозы в сочетании со стремительно возрастающим уровнем зависимости общества от промышленных систем требует от Правительства РФ принятия скоординированных мер по защите КВО от ККА и построения системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ).

Одной из этих мер на законодательном уровне является создание утвержденной Президентом РФ в декабре 2014 «Концепции государственной Системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (СОПКА) на информационные ресурсы РФ». Основным назначением такой системы является обеспечение защищенности информационных ресурсов РФ от ККА, а также обеспечение штатного функционирования данных ресурсов в условиях возникновения компьютерных инцидентов, вызванных реализацией сценария ККА.

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОПКА

Для обеспечения требуемого уровня защищенности информации СОПКА должна уметь эффективно, в соответствии с концепцией «СОПКА», «выявлять признаки проведения ККА, определять их источники, методы, способы и средства осуществления и направленности». В этой связи особую роль играют средства противодействия ККА. Существенным недостатком этих средств сегодня является неспособность предупреждать и своевременно пресекать ККА на информационные ресурсы КВО [1, 8, 10, 11].

Для разрешения данной задачи требуется разработка новых проактивных методов в составе средств раннего обнаружения и предупреждения ККА на информационные ресурсы.

Специфика функционирования СОПКА в составе трехуровневой архитектуры взаимодействия технических средств СОИБ представлена на рис. 1.



Рис 1. Уровни архитектуры взаимодействия средств системы обнаружения, предупреждения и ликвидации компьютерных атак

В целях иллюстрации специфики исследуемой предметной области на рис. 2 представлена развернутая функциональная схема взаимосвязи понятий верхнего уровня ИБ СОПКА.

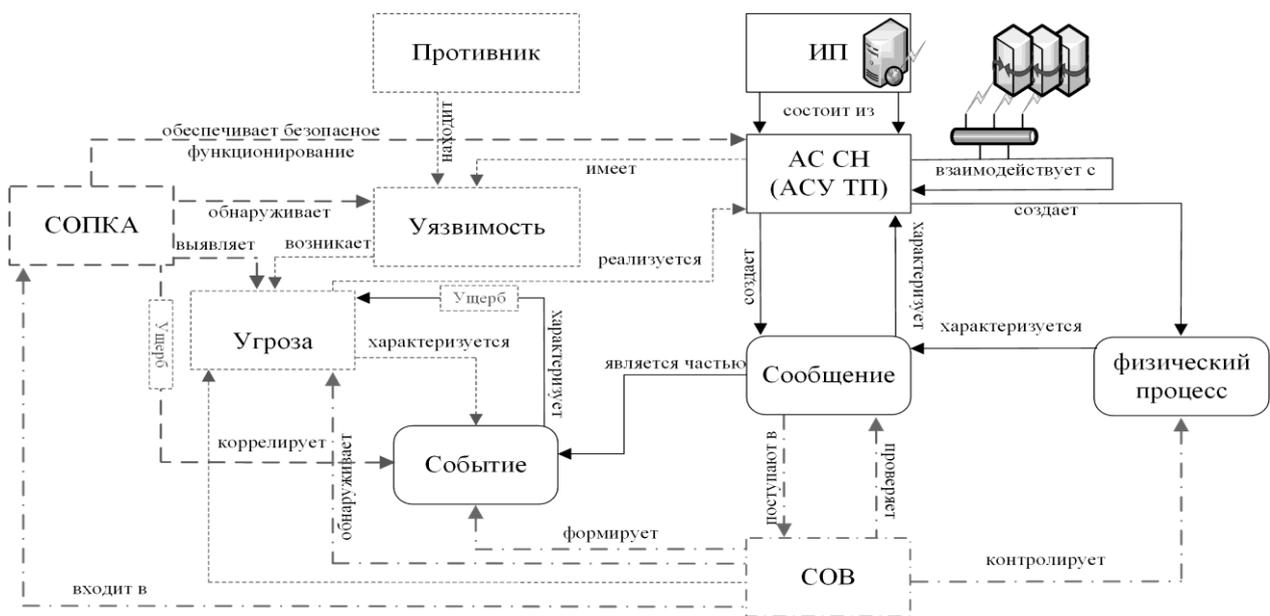


Рис 2. Функциональная схема взаимосвязи понятий верхнего уровня ИБ СОПКА

Однако разработка и развитие проактивных средств ограничиваются реализацией в «реактивных» системах отдельных способов проактивной защиты. Данное обстоятельство обуславливает низкий уровень эффективности работы таких систем. В связи с этим актуальной является задача разработки новых методов моделирования ККА, на основе которых возможно наделение СОПКА новым свойством «проактивности», что позволит обнаруживать ККА и реагировать на них еще на ранних стадиях их реализации.

В настоящее время в основе большинства систем обеспечения ИБ лежат «сигнатурные» методы обнаружения ККА, недостаток которых связан с концептуальными особенностями «реактивной» технологии организации защиты, на базе которой проектируются системы ИБ. Разработка и развитие проактивных средств ограничиваются реализацией в «реактивных» системах отдельных способов проактивной защиты: эвристического анализа выполняемого кода; эмуляции программного кода; виртуализации программного обеспечения и др. Однако эффективность применения этих способов в условиях реализации ККА невысока. Это связано с необоснованностью проектных решений при разработке проактивных систем в нечеткой среде информационного конфликта (рис. 3) [2, 3].

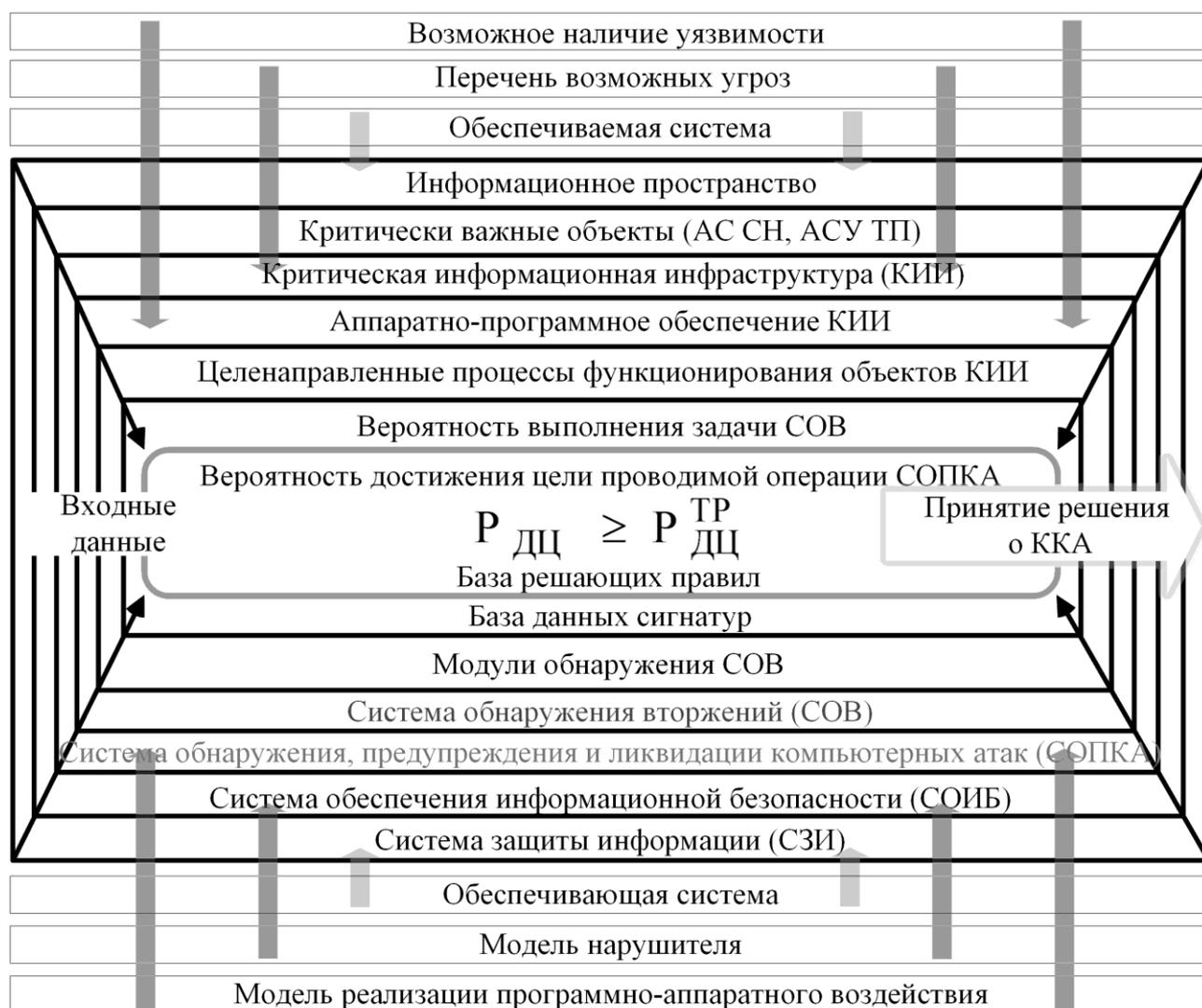


Рис 3. Формализация понятий ИБ в нечеткой среде информационного конфликта

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для достижения указанных целей формализуем постановку задачи, суть которой заключается в выявлении из существующего перечня методов и средств противодействия ККА такого их набора, который позволял бы упреждать сценарии реализации ККА в информационно-телекоммуникационной системе и сети, не допуская вывести КВО в аварийное состояние. Таким образом, постановка задачи будет иметь следующий вид.

Дано:

– характеристики ККА, реализуемого противником:

1. $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ – множество возможных сценариев ККА;

2. $T_J = \{\langle t'_1, t''_1 \rangle, \langle t'_2, t''_2 \rangle, \dots, \langle t'_g, t''_g \rangle\}$ – множество минимальных (t'_i) и максимальных (t''_i) значений периодов времени реализации сценариев ККА;

3. $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ – множество демаскирующих признаков событий информационной безопасности (СоИБ);

– параметры СОПКА и характеристики ее процесс функционирования (ПФ):

4. $Z_{ПД} = \{m_1, m_2, \dots, m_l\}$ – множество средств реагирования, обнаружения и анализа СоИБ;

5. $M_{ПД} = \{m_1, m_2, \dots, m_l\}$ – множество методов противодействия ККА;

6. $U_{\langle r \rangle} = \langle u_1, u_2, \dots, u_r \rangle$ – вектор управляемых параметров СОПКА и характеристик ее ПФ.

Ограничения:

1. $U_{\langle r \rangle} \in \{U_{\langle r \rangle}^{\text{доп}}\}$ – вектор управляемых параметров принадлежит ОДЗ.

2. $\hat{\tau}'_{\text{ККА}} \leq \tau_{\text{д}}$ – минимальные затраты времени $\hat{\tau}'_{\text{ККА}}$ на реализацию ККА не превышают директивных $\tau_{\text{д}}$.

Допущения:

1. $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ – множество возможных СККА известно с достаточной полнотой;

2. $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ – множество демаскирующих признаков СоИБ обнаруживается СОВ.

Требуется:

1. Обосновать вектор $\hat{Y}_{\langle n \rangle}$ показателей качества ПФ СОВ.

2. Построить математическую модель $\hat{Y}_{\langle n \rangle} = Y(\hat{A}_{\langle k \rangle}, \hat{B}'_{\langle l' \rangle})$ ПФ СОПКА, позволяющую определять значение показателя эффективности ее функционирования, – зависимость

$$P_{\text{ВЗ}} = P\left(Y(\hat{A}_{\langle k \rangle}, \hat{B}'_{\langle l' \rangle}) \underset{<}{\geq} Z\right).$$

3. Разработать методы и методики оценивания эффективности ПФ СОВ.

4. Разработать методы и методики анализа влияния ЭТХ $A'_{\langle k' \rangle}$ системы СОПКА, параметров $A''_{\langle k'' \rangle}$ организации процесса ее функционирования, а также анализа влияния требований, предъявляемых к результатам операции, на эффективность процесса проактивного реагирования на ПАВ противника.

5. Разработать метод и методику организации эффективного ПФ СОПКА, т.е. определения области

$$\{U\}^* = \arg \left[P_{\text{ВЗ}}(U(A, B)) \geq P_{\text{ВЗ}}^{\text{ТР}} \right]$$

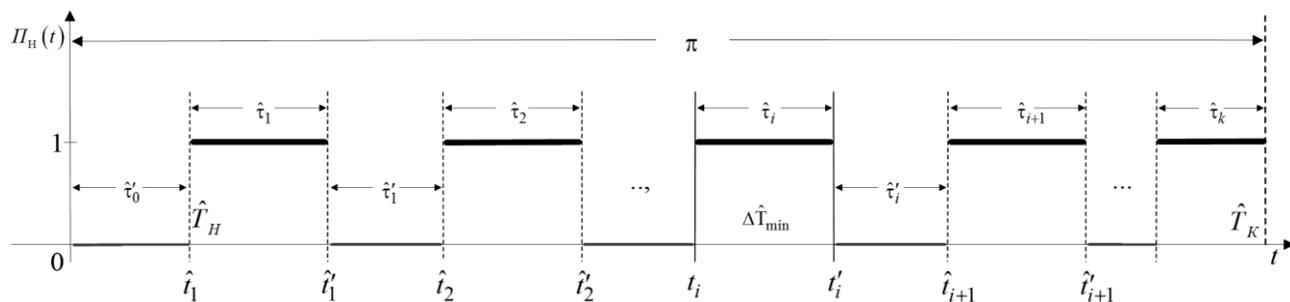
$$\begin{matrix} A \in \{A^a\} \\ B' \in \{B'^a\} \\ U \in \{U^a\} \end{matrix}$$

значений исследуемых управляемых параметров $U_{\langle r \rangle}$, обеспечивающих эффективность ПФ СОПКА не ниже требуемой $P_{\text{ВЗ}}^{\text{ТР}}$.

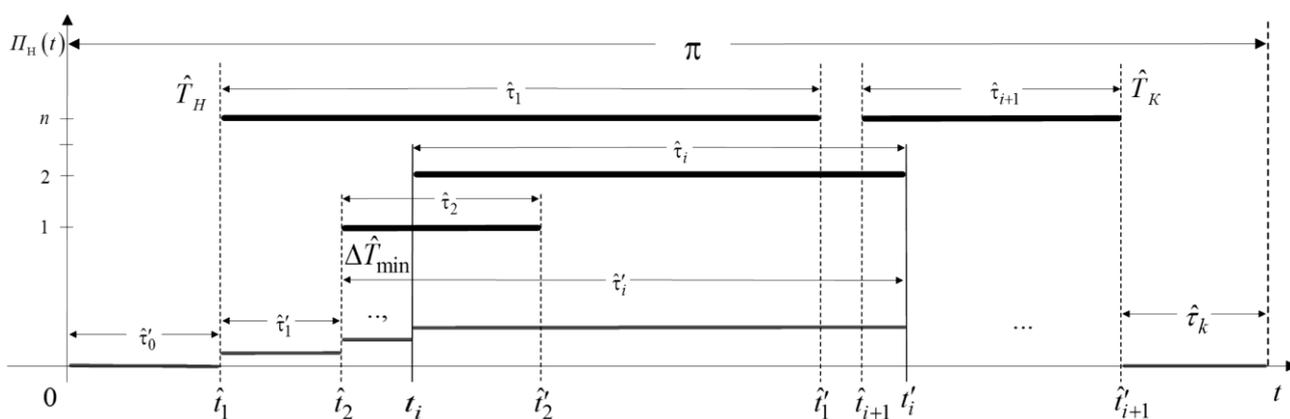
6. Сформулировать предложения по организации эффективного ПФ СОПКА.

В рамках предлагаемого подхода допустим, что каждый сценарий ККА представляет собой формализованное описание стандартной последовательности взаимосвязанных простых операций – элементарных, одношаговых, устремленных к единой цели (реализующих события ИБ). В результате входящие в эти события ИБ операции, характеризующие ККА сами, в свою очередь, могут быть представлены в виде сценариев большого числа различных и взаимосвязанных между собой процессов, и такая декомпозиция сценариев может быть доведена до требуемого уровня детализации декомпозируемых ККА.

Каждая i -я элементарная операция, несущая угрозу ИБ, протекает в течение интервала времени $\hat{\tau}_i^O$ [$i=1(1)k$], и следующая $(i+1)$ -я операция начинается по истечении временного промежутка $\hat{\tau}'_i$ [$i=0(1)k$]. В общем случае число \hat{k} элементарных операций, составляющих ККА, является случайным. На данном этапе исследования (на этапе внешнего проектирования) будем считать его неслучайным и равным математическому ожиданию, т.е. пусть $k = M[\hat{k}]$. Временной интервал, на котором реализуются все этапы ККА, обозначим π (рис. 4) [7, 12].



а)



б)

Рис 4. Представление ККА с помощью индикатора оперативного T-процесса в виде реализации сценария:

а – последовательное расположение событий ИБ; б – параллельное расположение событий ИБ

ВЫЯВЛЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ ККА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ

Пусть производится наблюдение за реализацией сценария ККА, имеющего неизвестную для наблюдателя (вероятностную) структуру (рис. 5).



Рис 5. Длительность наблюдения сценария ККА по уровням взаимодействия открытых систем

Основными допущениями, обеспечивающими корректность применения МН для реализации рассматриваемого этапа, являются следующие:

- наблюдение проводится за множеством $\{J_n\}$ сценариев, включающих n сценариев с вероятностной структурой;

- для наблюдаемого комплекса $\{J_n\}$ сценариев построена его производственная модель, в которой структура каждого сценария описывается с помощью оперативного Т-процесса, а правила выводов представляют собой продукции, прогнозирующие возможные сценарии развития ККА;

- Т-процесс может представлять собой сеть как с вероятностной, так и с детерминированной структурой. При этом каждому возможному сценарию j_i наблюдаемого множества $\{J_n\}$ соответствует вариант \tilde{j}_i структуры МО [7, 12].

Сущность рассматриваемого этапа наблюдения за реализацией сценария ККА с вероятностной структурой состоит в том, что с помощью модели наблюдения (МН) сначала выявляют возможный вариант реализуемого сценария ККА. Впоследствии для выявленного варианта прогнозируют его возможные состояние и развитие, оценивают значения параметров процессов, входящих в сценарий, и самого сценария в целом. При этом производят сопоставление сценариев, выявленных непосредственно по данным МН, с типовыми сценариями, включенными в модель обнаружения (МО).

Если возникает необходимость, то структура и параметры моделей уточняются. По расположению в МО элементарных событий, выявленных по результатам наблюдений и прошедших проверку на непротиворечивость, судят о реализуемом варианте сценария и определяют оценки значений его параметров (рис. 6) [2].

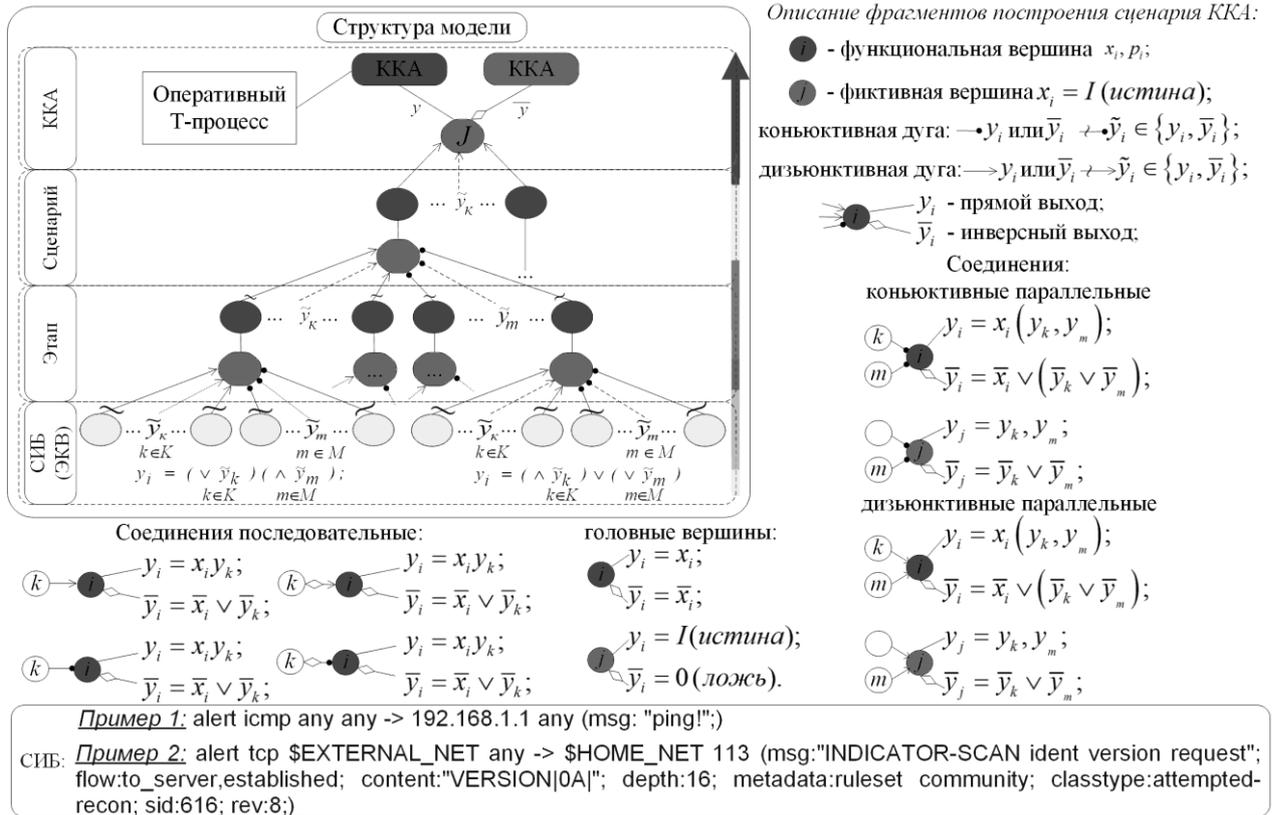


Рис 6. Этапы построения модели структуры сценария ККА на основе событийно-логического подхода

В результате производства k последовательных сеансов наблюдений на интервале $[t_0, t_1]$ получены данные о m сценариях наблюдаемого множества $\{J_n\}$. Эти данные могут быть представлены в виде матрицы

$$H_{[m,n]} = \begin{bmatrix} H_{11}(t_{11}) & H_{12}(t_{12}) & \dots & H_{1n}(t_{1n}) \\ H_{21}(t_{21}) & H_{22}(t_{22}) & \dots & H_{2n}(t_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{m1}(t_{m1}) & H_{m2}(t_{m2}) & \dots & H_{mn}(t_{mn}) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где t_{ij} – момент наблюдения i -го сценария в j -м сеансе наблюдения, $i = 1(1)m$, $j = 1(1)n$;

$H_{ij}(t_{ij})$ – кортеж данных об i -м сценарии, полученный в j -м сеансе наблюдений в момент $t_{ij} \in [t_0, t_1]$, $i = 1(1)m$, $j = 1(1)n$.

Кортеж данных $H_{ij}(t_{ij})$ представляет собой упорядоченный набор данных, необходимых и достаточных для получения по ним вывода о проведении наблюдаемого сценария с заданной степенью достоверности [3]. При отсутствии данных наблюдения компонентов этого кортежа достоверность вывода о проведении сценария снижается, а при отсутствии данных о наблюдениях нескольких компонентов такой вывод может стать просто недостоверным.

Представим результаты наблюдений комплекса $\{J_n\}$ сценариев в виде матрицы $H_{ij}(t_{ij})$, где каждый элемент матрицы – это набор наблюденных значений количественных и качественных признаков наблюдаемого множества сценариев. Для принятия прогнозного решения о реализации конкретного сценария в момент наблюдения с уровнем достоверности не ниже заданного необходимо и достаточно, чтобы набор Y наблюдаемых признаков прово-

димого сценария имел состав не менее минимально допустимого, который может быть определен методами теории планирования экспериментов. Отклонение от минимально допустимого состава набора наблюдаемых признаков сценария приводит к снижению уровня достоверности вывода о проведении этого сценария, следствием чего является увеличение затрат (временных и материальных) на организацию дополнительного наблюдения за реализацией сценария.

Результатом наблюдений множества $\{J_n\}$ на интервале времени $[t_0, t_1]$ является информационное решение о принадлежности (наблюдаемого) реализуемого сценария подмножеству сценариев объемом m' из множества $\{J_n\}$ в n' моментах интервала наблюдения $[t_0, t_1]$, где $m' < m$, $n' < n$.

Множество $\{J_n\}$ сценариев в виде матрицы $H_{[m,n]}$ представляет собой модель сложного процесса, в котором любой сценарий может быть реализован совокупностью простых процессов в виде элементарных событий, возникновение которых выявляется непосредственно по результатам наблюдений.

Если единичный сценарий ККА представить в виде матрицы $H_{[m,n]}$, где $H_{ij}(t_{ij})$ – кортеж данных об i -м элементарном компьютерном воздействии (процессе), то выявленные воздействия составляют определенную последовательность реализации сценария, а порядок их следования определяется моментами времени наблюдений.

Обозначим выявленные элементарные воздействия символами a_i , $i = 1(1)m$, множество выявленных воздействий – $A\{m'\} = \{a_i\}_1^{m'}$, а последовательность этих воздействий – символом $A_{\langle m' \rangle} = \langle a_1, a_2, \dots, a_{m'} \rangle$.

Воздействия могут быть упорядочены по моментам времени обнаружения и представлены в виде матрицы следующего вида:

$$A_{[m,n]} = \|a_{ij}\|_{m'}^n, \quad (2)$$

где

$$a_{ij} = \begin{cases} a(t_{ij}) - \text{если } i\text{-е выявленное и непротиворечащее сетевой модели} \\ \text{воздействие наблюдалось в момент } j\text{-го сеанса наблюдения,} \\ i = 1(1)m', j = 1(1)n; \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В частности, можно выбрать $a(t_{ij}) = t_{ij}$.

Проверка соответствия выявленных сценариев их сетевым моделям $\{J_n\}$ заключается в проверке соответствия входных данных и исходной иерархической системы прогнозируемого процесса. Проверка осуществляется путем реализации ряда этапов, к которым относятся следующие:

- проверка наличия в системе множества $\{J_n\}$ сценариев, позволяющих достаточно полно описать результаты наблюдений;
- проверка соответствия порядка следования выявленных воздействий их расположению в системе множества моделей $\{J_n\}$;
- уточнение в системе множества $\{J_n\}$ априорных значений наибольшей возможной продолжительности элементарных событий по результатам наблюдений;
- уточнение в системе множества $\{J_n\}$ априорных значений наименьшей возможной продолжительности элементарных событий по результатам наблюдений;

- определение по результатам наблюдений перечня возможных вариантов сценария реализации прогнозируемого процесса;
- корректировка по результатам наблюдений значений параметров прогнозируемого процесса.

На данном этапе проверяется наличие в $\{J_n\}$ наблюдаемого сценария выявленных воздействий и соответствие порядка их следования расположению этих же воздействий в модели.

Для проверки соответствия порядка следования выявленных воздействий их расположению в множестве сценариев определяют самые ранние моменты времени начала (наименьшие ранние сроки свершения начальных воздействий) и самые поздние моменты времени окончания (наибольшие поздние сроки свершения конечных воздействий) этих воздействий, а затем проверяют попадание моментов времени наблюдений событий в соответствующие этим срокам временные интервалы. В случае попадания считают, что события соответствуют порядку их следования в сетевой модели. Событие, моменты наблюдения которого не попадают в соответствующий интервал, считают не соответствующим указанному порядку.

Порядок следования выявленных воздействий отражает структуру прогнозируемого сценария (целенаправленного процесса, операции). По исходным данным этот порядок может быть определен путем анализа соотношений между моментами фиксации (наблюдения) проведения анализируемых воздействий. Если \tilde{a}_i и \tilde{a}_r – два любых выявленных воздействия, то между первыми и последними моментами фиксации проведения этих воздействий на интервале $[T_0, T_1]$ возможны следующие соотношения:

$$\begin{aligned} & (T_i^H < T_r^K) \vee (T_i^H = T_r^K) \vee (T_i^H > T_r^K) \\ & (T_r^H < T_i^K) \vee (T_r^H = T_i^K) \vee (T_r^H > T_i^K), \end{aligned}$$

где T_i^H – первый момент наблюдения \tilde{a}_i на интервале $[t_0, t_1]$;

T_i^K – последний момент наблюдения \tilde{a}_i на интервале $[t_0, t_1]$;

T_r^H – первый момент наблюдения \tilde{a}_r на интервале $[t_0, t_1]$;

T_r^K – последний момент наблюдения \tilde{a}_r на интервале $[t_0, t_1]$.

Других соотношений быть не может.

Если воздействие \tilde{a}_r следует за воздействием \tilde{a}_i , то возможно только следующее соотношение: $T_i^K \leq T_r^H$.

Если воздействие \tilde{a}_i следует за воздействием \tilde{a}_r , то возможно только следующее соотношение: $T_r^K \leq T_i^H$.

Расположение воздействий в множестве $\{J_n\}$ определяется отношением следования, заданным на МН и МО. Два воздействия находятся в отношении следования, если во множестве $\{J_n\}$ между ними существует путь. При этом воздействие, из которого исходит путь, является предшествующим, а воздействие, в которое входит путь – последующим. Воздействия, между которыми нет пути, не находятся в отношении следования.

В случае отсутствия в сценарии выявленных воздействий либо несоответствия порядка следования расположения этих воздействий в МН и МО уточняются. Если уточненные данные с высокой степенью достоверности подтверждают факт проведения этих воздействий в наблюдаемом сценарии, то производится коррекция моделей путем включения таких воздействий в множество сценариев либо изменение их расположения в модели. Если же уровень достоверности ниже требуемого, то обнаруженное воздействие противоречит МН сценария. Все противоречащие элементарные события исключают из рассмотрения. В этапах обработки результатов наблюдений они не участвуют.

Наличие выявленных воздействий в МН сценария, а также соответствие порядка их следования расположению этих воздействий в сценарии дают основание для вывода о непротиворечивости МО относительно результатов МН.

Выявленные воздействия, не противоречащие сетевой модели, обозначим символами:

$$b_i, i = 1(1), m'', m'' \leq m',$$

где m'' – число выявленных воздействий, не противоречащих сетевой модели.

Для обозначения множества всех выявленных воздействий, не противоречащих модели, введем символ

$$B\{m''\} = \{b_i\}_1^{m''},$$

где

$$b_{ij} = \begin{cases} b(t_{ij}) - \text{если } i\text{-е выявленное и не противоречащее сетевой модели} \\ \text{воздействие наблюдалось в момент } t_{ij} \text{ } j\text{-го сеанса наблюдения,} \\ i = 1(1)m', j = 1(1)n; \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ НАБЛЮДАЕМОГО СЦЕНАРИЯ ККА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМЕЙСТВА СТОХАСТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

Прогнозирование развития наблюдаемого сценария в момент времени включает:

- оценивание состояния реализации сценария в заданный момент времени;
- ретроспективный анализ развития и состояний сценария, включая определение моментов начала реализации сценария, начала выполнения воздействий и темпов их выполнения;
- прогноз развития сценария и оценивание продолжительности воздействий, включенных в исходную систему моделей прогнозирующих сценариев, а также оценивание момента окончания сценария и результатов его завершения.

Для наглядного представления нижеизложенного материала на рис. 7 показана вероятностно-временная модель процесса прогнозирования ККА. Анализируя представленную на рисунке модель, можно сделать вывод, что получение оценки момента начала реализации прогнозируемого сценария позволяет спрогнозировать этапы реализации этого сценария на любой заданный момент времени $T_{\text{зад}}$. Указанное состояние характеризуется:

- завершенными к моменту времени $T_{\text{зад}}$ воздействиями;
- выполняемыми в момент времени $T_{\text{зад}}$ воздействиями;
- воздействиями, осуществление которых к моменту $T_{\text{зад}}$ не начиналось.

Определение завершенных, выполняемых и еще не начатых воздействий прогнозируемого сценария осуществляется с использованием следующих правил [5, 8].

Все воздействия, поздний срок T_r^{no} окончания которых не превышает заданного момента времени $T_{\text{зад}}$, полагают выполненными к этому моменту.

Все воздействия, ранний срок T_r^{ph} начала которых превышает заданный момент времени $T_{\text{зад}}$, считаются еще не начатыми на этот момент.

Все воздействия, для которых справедливо неравенство, находятся в промежутке

$$T_r^{\text{nh}} \leq T_{\text{зад}} \leq T_r^{\text{po}},$$

где T_r^{nh} – самый поздний момент времени начала воздействия \tilde{a}_r ;

T_r^{po} – самый ранний момент времени окончания воздействия \tilde{a}_r , полагают выполняемыми в момент $T_{зад}$.

Все воздействия, для которых справедливо одно из неравенств:

$$T_r^{рн} \leq T_{зад} \leq T_r^{нн}$$

$$T_r^{po} \leq T_{зад} \leq T_r^{no},$$

могут осуществляться в момент $T_{зад}$.

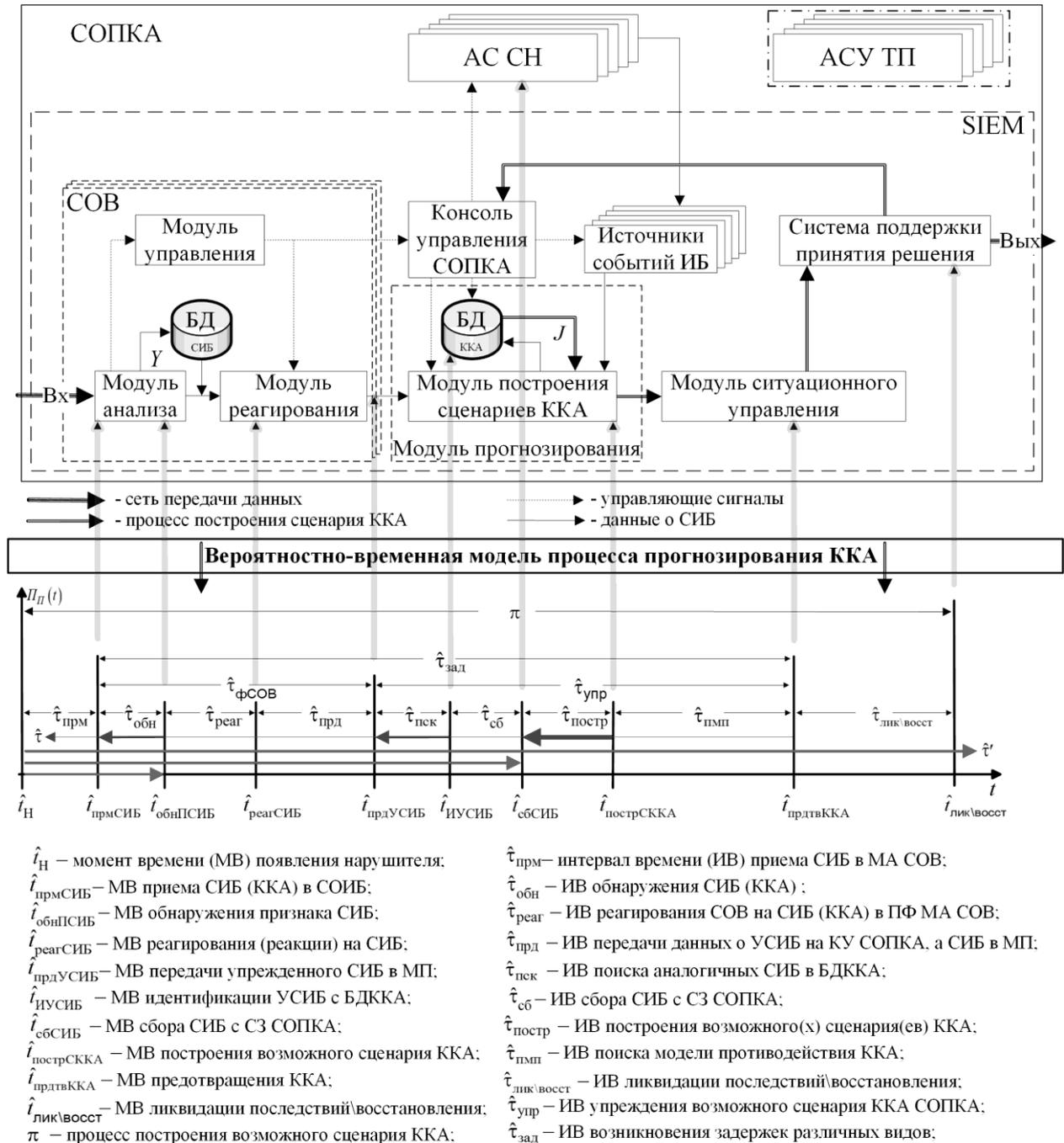


Рис 7. Вероятностно-временная модель процесса прогнозирования ККА

Если $T_{\text{зад}} = T$, где T – текущий момент времени, то применение правил дает оценку текущего состояния исследуемого сценария.

Если $T_{\text{зад}} < T$, то это означает, что проводится ретроспективный анализ сценария.

Если $T_{\text{зад}} > T$, то это означает, что производится прогнозирование развития сценария.

При прогнозировании развития сценария важнейшей задачей является найти прогнозную оценку момента $T_{\text{ок}}$ окончания этого сценария ($T_{\text{ок}}$ – момент окончания реализации прогнозируемого сценария).

Таким образом, в результате выполнения данного (последнего) этапа, в зависимости от поставленной цели, получают либо оценку текущего состояния сценария, либо прогноз его развития, либо данные ретроспективного анализа.

Следует отметить [2, 4, 9, 10], что исходными данными для определения временных параметров МО являются:

- момент $\hat{t}_i^{\text{НЧ}}$ времени начала i -го воздействия;
- момент $\hat{t}_i^{\text{ЗВ}}$ времени завершения i -го воздействия;
- продолжительность $\hat{\tau}_i$ (длительность) i -го воздействия.

Значения параметров $\hat{t}_i^{\text{НЧ}}$, $\hat{t}_i^{\text{ЗВ}}$ и $\hat{\tau}_i$ являются величинами неизвестными, а следовательно, случайными, поэтому характеристикой степени реализации случайного события $\hat{\tau}_i < \tau_i^{\text{д}}$ является вероятность $P(\hat{\tau}_i < \tau_i^{\text{д}})$, где $\tau_i^{\text{д}}$ – директивное значение $\hat{\tau}_i$. Представленная выше ситуация, неопределенность которой описывается одной случайной и неслучайной переменной соответствующего предиката $\hat{\tau}_i < \tau_i^{\text{д}}$, на практике редко встречается в чистом виде. Для моделирования более распространенной ситуации неопределенности требуется представить переменную $\tau_i^{\text{д}}$ как случайную переменную. Тогда предикат $\hat{\tau}_i < \tau_i^{\text{д}}$ становится уже дважды неопределенным и описывает дважды неопределенную ситуацию, характеристикой которой является вероятность [1]

$$P(\hat{\tau}_i < \tau_i^{\text{д}}) = \bar{\omega}_i^{\tau} \quad (3)$$

где $\bar{\omega}_i^{\tau}$ – математическое ожидание стохастического супериндикатора продолжительности i -го воздействия.

Однако наиболее полной характеристикой продолжительности $\hat{\tau}_i$ i -го воздействия может служить вероятность

$$P(\hat{\tau}_i^{\text{н}} < \tau_i \leq \tau_i^{\text{д}}) = \bar{\Omega}_i^{\tau}, \quad (4)$$

где $\hat{\tau}_i^{\text{н}}$ – нормативное операционное время, нижняя граница периода выполнения i -го воздействия;

$\hat{\tau}_i$ – продолжительность (длительность) i -го воздействия до окончания его выполнения;

$\tau_i^{\text{д}}$ – директивное операционным время, верхняя граница периода выполнения i -го воздействия;

$\bar{\Omega}_i^{\tau}$ – стохастический гипериндикатор продолжительности $\hat{\tau}_i$ i -го воздействия.

В свою очередь, требование к фактическому моменту $\hat{t}_i^{\text{НЧ}}$ времени начала i -го воздействия формулируется в виде

$$\hat{t}_{i-1}'' < \hat{t}_i^{\text{НЧ}} \leq \hat{t}_i', \quad (5)$$

где \hat{t}_{i-1}'' – ранний момент начала выполнения i -го воздействия;

- $\hat{t}_i^{\text{НЧ}}$ – момент начала выполнения i -го воздействия;
 \hat{t}'_i – поздний момент начала выполнения i -го воздействия, $\hat{t}'_i = \hat{t}''_{i-1} - \tau_{i-1,i}$.

Тогда фактический момент $\hat{t}_i^{\text{НЧ}}$ времени начала выполнения i -го воздействия представляет собой случайное событие $\hat{A}_{\langle \hat{t}', \hat{t}'' \rangle} = (\hat{t}'_i < \hat{t}_i \leq \hat{t}''_i)$, характеристикой которого служит вероятность

$$P(\hat{t}''_{i-1} < \hat{t}_i^{\text{НЧ}} \leq \hat{t}'_i) = \overline{\Omega}_{i-1,i}^{\text{НЧ}}, \quad (6)$$

где $\overline{\Omega}_{i-1,i}^{\text{НЧ}}$ – стохастический гипериндикатор момента \hat{t}_i времени начала i -го воздействия.

Наиболее полной характеристикой фактического $\hat{t}_i^{\text{ЗВ}}$ момента завершения выполнения i -го воздействия может служить вероятность

$$P(\hat{t}''_i < \hat{t}_i^{\text{ЗВ}} \leq \hat{t}'_{i+1}) = \overline{\Omega}_{i-1,i}^{\text{ЗВ}}, \quad (7)$$

- где \hat{t}''_i – ранний момент завершения выполнения i -го воздействия;
 $\hat{t}_i^{\text{ЗВ}}$ – момент завершения выполнения i -го воздействия;
 \hat{t}'_{i+1} – поздний момент завершения выполнения i -го воздействия, $\hat{t}'_{i+1} = \hat{t}''_i + \tau_{i,i+1}$;
 $\overline{\Omega}_{i-1,i}^{\text{ЗВ}}$ – стохастический гипериндикатор момента $\hat{t}_i^{\text{ЗВ}}$ завершения i -го воздействия.

Вероятностные свойства случайных событий, характеризуемых индикатором $\overline{\omega}_i^\tau$, могут быть исследованы на основе теории стохастической индикации. Вероятностные свойства случайных событий, характеризуемых индикаторами $\overline{\Omega}_i^\tau$, $\overline{\Omega}_{i-1,i}^{\text{НЧ}}$, $\overline{\Omega}_{i-1,i}^{\text{ЗВ}}$, более полно могут быть исследованы на основе представленного ниже аппарата теории стохастической гипериндикации.

Важной характеристикой, определяющей очередность случайного следования воздействий в некотором сценарии, могут служить вероятности:

$$\begin{aligned} P(\hat{t}_i^{\text{ЗВ}} < \hat{t}_{i+1}^{\text{НЧ}}) &= \overline{\omega}_{i,i+1}^t, \\ P(\hat{\tau}_i < \hat{\tau}_{i+1}) &= \overline{\omega}_{i,i+1}^\tau, \\ P(\hat{\tau}_i < \hat{\tau}_{i+1} \leq \hat{\tau}_{i+2}) &= \overline{\Omega}_{i,i+1,i+2}^\tau, \end{aligned} \quad (8)$$

- где $\overline{\omega}_{i,i+1}^t$ – стохастический супериндикатор очередности следования двух воздействий на основе оценивания случайной очередности момента $\hat{t}_i^{\text{ЗВ}}$ завершения i -го воздействия и момента $\hat{t}_{i+1}^{\text{НЧ}}$ начала $(i+1)$ -го воздействия;
 $\overline{\omega}_{i,i+1}^\tau$ – стохастический супериндикатор очередности завершения двух воздействий на основе оценивания случайной продолжительности $\hat{\tau}_i, \hat{\tau}_{i+1}$ i -го и $(i+1)$ -го воздействий соответственно;
 $\overline{\Omega}_{i,i+1,i+2}^\tau$ – стохастический гипериндикатор очередности завершения выполнения трех воздействий на основе оценивания случайной продолжительности $\hat{\tau}_i, \hat{\tau}_{i+1}, \hat{\tau}_{i+2}$ i -го, $(i+1)$ -го и $(i+2)$ -го воздействий соответственно.

Резюмируя вышесказанное, под моделью представления сценариев ККА будем понимать логико-вероятностную модель представления знаний. Для предложенного подхода необходимы обнаружение события информационной безопасности СОВ, прогнозирование его дальнейшего развития (построение сценария ККА на основе применения индикатора оперативного Т-процесса) и непосредственно само предотвращение (рис. 8). Данный пример показывает, что есть достаточный интервал времени для выбора ответных мер на возможный реализуемый сценарий ККА.

Пример ККА «Атака на MS SQL Server»

№ этапа	Название атаки (СоИБ)	Идентификатор СоИБ	Время
1	Разведка		
1.1	Поиск устройств UPnP	752 (1917, 2008092, 2008093, 2008094)	16.45.10 – 16.45.25
1.2	Поиск MS SQL Server	983 (2009038, 2009039, 2009040)	16.45.10 – 16.45.25
2	Атаки на проникновение		
2.1	Подбор (взлом пароля)	1061 (3543)	17.51.07 – 17.52.10
2.2	Повышение привилегий через sql injection	1064 (2000372, 2000373)	17.53.26 – 17.54.50
2.3	Переополнение буфера с целью получения прав администратора	1062 (8496)	17.55.07 – 17.55.28

Рис 8. Пример прогнозирования ККА

Удобной аналитической математической моделью такого процесса является индикатор процесса обслуживания произвольного требования, определяемый соотношением ($\Pi(t)$ – индикатор возможного процесса реализации сценария ККА)

$$\hat{\Pi}(t) = \sum_{i=1}^d \Pi(t; \hat{t}_i', \hat{t}_i'') = \sum_{i=1}^d \Pi(t; \hat{t}_i', \hat{t}_i'' + \hat{\tau}_i) \quad (9)$$

где \hat{t}_i – момент начала i -го цикла обслуживания;

\hat{t}_i' – момент окончания i -го цикла обслуживания;

$\hat{\tau}_i$ – длительность i -го цикла обслуживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трудности решения задач обработки результатов наблюдения сложных сценариев обусловлены как природой самих ККА, так и свойствами системы наблюдения, определяющими полноту и достоверность данных наблюдения, а также оперативность их получения и обработки.

Для эффективного решения задач противодействия ККА представлена структурная схема (рис. 8) на основе методов и моделей противодействия ККА (как существующих, так и дополняющих существующие разработки [5, 8]).

Новизна предложенного подхода заключается в следующем:

- построены сценарии ККА на основе событийно-логического подхода;
- применены семейства стохастических индикаторов для прогнозирования возможного процесса реализации сценария ККА;
- для упреждения возможного процесса реализации сценария ККА предложена модель построения оперативного Т-процесса;

– на основании вышеизложенного предполагается наделение СОПКА свойством проактивности.



Рис 9. Структурная схема противодействия ККА

Представленные на рис. 9 методы и модели должны обеспечивать решение ряда задач, к которым относятся следующие:

- анализ сценариев, способов реализации, распознавание образов и признаков ККА;
- идентификация состояния КВО;
- априорное описание процессов противодействия ККА;
- предупреждение, обнаружение и анализ ККА на основе формализованных и согласованных логических правил;
- активное противодействие источникам ККА;
- экспериментальное оценивание эффективности применения средств противодействия ККА;
- обоснование операционного комплекса для оценивания степени пригодности методов, моделей и средств противодействия ККА;
- обоснование требований к разрабатываемым средствам противодействия ККА.

Таким образом, предполагается, что данный подход позволит повысить уровень реагирования на ККА на ранних стадиях их проявления при организации проактивной защиты на КВО.

Список используемых источников

1. Горбачев И.Е., Еремеев М.А. К вопросу о применении стохастического супериндикатора в задачах оценивания защищенности информации в автоматизированных системах // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – №2. – С. 20–25.
2. Горбачев И.Е., Аниканов Г.А. Подход к снижению риска дезорганизации функционирования критической инфраструктуры в условиях информационного конфликта // Проблемы

информационной безопасности. Компьютерные системы. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – № 2(62). – С. 106–119.

3. *Горбачев И.Е., Кудрявцев А.Ю.* Принципы рефлексивного управления нарушителем в инфотелекоммуникационных системах на основе технологии маскирования информационных ресурсов // Защита информации. INSIDE. – СПб.: ООО «Издательский дом «Афина», 2015. – № 1(61). – С. 2–8.

4. Удостоверяющие автоматизированные информационные системы и средства. Введение в теорию и практику / И.Е. Горбачев, С. В. Баушев, И. В. Аристархов и др.; под ред. С. В. Баушева, А. С. Кузьмина. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 304 с.

5. *Климов С.М., Сычев М.П., Астрахов А.В.* Противодействие компьютерным атакам. Методические основы. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 108 с.

6. *Можжаев А.С., Громов В.Н.* Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. – СПб.: ВИТУ, 2000. – 145 с.

7. *Петухов Г.Б., Якунин В.И.* Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. – М.: АСТ, 2006. – 504 с.

8. *Сухов А.М., Якунин В.И., Калиниченко С.В.* Алгоритм применения методов и моделей противодействия компьютерным атакам // Защита информации. Инсайд: журнал. – СПб.: ООО «Издательский дом «Афина», 2016. – № 6 (72). – С. 38–41.

9. *Сухов А.М., Горбачев И.Е., Якунин В.И.* Методика моделирования процесса функционирования системы обнаружения вторжений в компьютерную сеть в задачах исследования эффективности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – №2. – С. 23–30.

10. *Сухов А.М., Якунин В.И.* Обоснование подхода к постановке и решению задачи внешнего проектирования проактивных систем обнаружения вторжений на объекты критической информационной инфраструктуры // Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». – СПб.: Изд-во НПО «Специальных материалов», 2017. – С. 228–231.

11. *Сухов А.М., Горбачев И.Е., Лукьянов Р.В.* Особенности обеспечения информационной безопасности критической инфраструктуры с учетом специфики автоматизированных систем управления технологическим процессом // Защита информации. Инсайд: журнал. – СПб.: Изд-во ООО «Афина», 2016. – № 2 (68). – С. 30–37.

12. *Сухов А.М., Горбачев И.Е., Якунин В.И.* Подход к моделированию целенаправленных компьютерных атак на основе построения оперативного Т-процесса реализации возможного сценария деструктивного воздействия // Материалы 26-й научно-технической конференции «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации». – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 44–46.

К.Г. Колесников,
кандидат техн. наук;
А.А. Масалкин;
Б.В. Москвин,
кандидат техн. наук

КООРДИНАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЦЕЛЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Рассматривается задача планирования целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли на основе использования методов координации. Критерием оценки эффективности плана является полнота объема информации, предоставляемой потребителям. Допустимость полученного плана определяется исходя из ограничений, накладываемых на процесс целевого применения КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Для решения задачи планирования применения КА ДЗЗ используется алгоритм, соответствующий идеям метода Данцига – Вульфа, в котором результирующий план применения группировки строится за счет координации частных планов применения космических аппаратов ДЗЗ. Приводятся результаты работы алгоритма на тестовом примере.

Ключевые слова: координационное планирование; группировка космических аппаратов; дистанционное зондирование Земли; целевое применение; планирование; алгоритм Данцига – Вульфа.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений в области дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является создание космических систем (КС), включающих в свой состав группировку разнородных космических аппаратов (КА) большой размерности и широкую сеть территориально распределенных центров приема, обработки и доведения до потребителей конечной продукции ДЗЗ [1]. Перспективность данного направления обусловлена существенным повышением требований потребителей к информационной эффективности ДЗЗ и обоснована:

- стремлением резкого расширения признаков пространства добываемых данных за счет интеграции разнородных КА, каждый из которых оснащается определенным типом сенсора;

- необходимостью обслуживания территориально разветвленной структуры многочисленных абонентов, заинтересованных в использовании информации космического мониторинга в масштабе времени, близком к реальному;

- снижением временных затрат на доведение данных ДЗЗ и продукции на их основе до конечных потребителей;

- повышением достоверности определения текущего состояния стационарных и подвижных объектов ДЗЗ, в том числе в сложных метеоусловиях и помеховой обстановке.

Увеличение размерности орбитальной группировки приводит к появлению альтернативных возможностей съемки одних и тех же районов наблюдения различными КА, которые могут быть использованы для повышения информационной эффективности информации ДЗЗ. В то же время с ростом размерности группировки одновременно возрастает и потенциальная возможность возникновения «конфликтных ситуаций», связанных с назначением различных КА на съемку одного и того же объекта.

Процесс развития систем дистанционного зондирования сопровождается расширением рынка космических услуг, привлечением новых клиентов (организаций, ведомств, а в перспективе и частных лиц) и, как следствие, повышением требований к эффективности функционирования системы. В этих условиях появляется необходимость в проведении процедуры координации (согласования) расписания планов целевого применения КА.

Большинство существующих разработок в области создания наземных и бортовых комплексов планирования целевого функционирования КА ДЗЗ ориентированы на одиночные КА и не могут быть спроецированы на группировки большой размерности [2]. Для решения этой задачи предлагаются различные подходы. В работе [3] решалась задача синтеза оптимальной программы работы БСА КА ДЗЗ, в свою очередь, решающая задачу оперативного наблюдения. В качестве оценки выходного эффекта оценивалось значение вероятности (она должна быть максимальна) того, что количество, качество и оперативная пригодность полученной информации удовлетворяют предъявленным требованиям. В работе [4] как показатель качества функционирования космического аппарата наблюдения, при обслуживании ими групповых целей на ограниченном временном интервале, использовалась производительность, определяемая как количество целей, обслуживаемых на одном эквивалентном участке функционирования. Задача решалась методом случайного направленного поиска с отсечением неперспективных вариантов (которые определялись как количество оставшихся целей). В работе [5] используется метод «поиска перспективных объектов». В основе этого метода лежит идея метода динамического программирования, когда проведение сравнения маршрутов осуществляется на каждом шаге построения маршрута, но принцип оптимальности здесь не используется. Оптимальное решение достигается за счет введения доминирующих условий одних вариантов над другими. Задача определения маршрута обхода целей, т.е. определения совокупности элементов групповой цели, решалась в работе [6]. Оптимальным признавался маршрут обхода целей, при реализации которого достигается максимум производительности. Для решения данной задачи формируются матрицы временных ресурсов на маневр перенацеливания и относительных углов визирования целей. На основе этих матриц производится генерация матрицы достижимости целей.

Общим недостатком указанных методов является использование при планировании фиксированного момента начала наблюдения объекта и, как следствие, априорного расчета матрицы, из-за чего уменьшается множество альтернатив. В результате синтезируемое расписание может оказаться неоптимальным. Поэтому возникает необходимость в совершенствовании методов оптимизации расписания наблюдения объектов КА ДЗЗ. В [7] предложен метод оптимизации расписания сеансов наблюдения объектов для решения задачи с нефиксированным (подвижным в пределах допустимого интервала) моментом начала съемки объекта. Оптимизация расписания осуществляется на основе модифицированного метода ветвей и границ. В классическом методе ветвей и границ проводится сравнение текущей оценки значения целевой функции с уже вычисленной нижней границей (оценкой), на основе результата этого сравнения принимается решение об отсечении неперспективной ветви. В предложенном модернизированном методе данное правило имеет более общий вид, так как учитывается не только значение суммы целевой функции в виде суммы приоритетов целей полученного фрагмента расписания, но и время его завершения. Данный подход позволит существенно расширить множество альтернатив поиска оптимального плана и, как следствие, увеличить целевую функцию.

В настоящей работе рассматривается возможность реализации согласования планов применения КА ДЗЗ при решении целевых задач с помощью координационных методов, положительно зарекомендовавших себя при решении классических задач планирования и распределения ресурсов [8, 9].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задано множество КА $A = \{a_i, i = \overline{1, n}\}$ и объектов наблюдения $C = \{C_q, q = \overline{1, k}\}$. В результате математического моделирования движения и функционирования КС могут быть сформированы следующие данные – расписание прохождения каждого КА над зонами взаимной

видимости КА-ППИ и над объектами наблюдения (с учетом условий, необходимых для работы оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ).

План целевого применения i -го КА можно представить в виде булевого вектора

$$x_i = \text{col}\langle x_{ijs} \rangle, x_{ijs} \in \{0, 1\}, j = \overline{1, m}, s = \overline{1, S_i}, \quad (1)$$

где x_{ijs} – переменная, принимающая значение $x_{ijs} = 1$, если запланировано наблюдение j -го объекта i -м КА на s -м витке; $x_{ijs} = 0$ – в противном случае;

S_i – количество витков, совершаемых i -м КА на интервале планирования.

При планировании целевого применения КА необходимо учитывать технические характеристики бортовой аппаратуры КА и возможность проведения совместной съемки различных объектов наблюдения. Формально множество допустимых планов применения i -го КА можно описать совокупностью линейных алгебраических неравенств [10]:

$$A_i x_i \leq b_i. \quad (2)$$

В качестве показателя оптимальности применения i -го КА можно выбрать показатель, характеризующий объем информации, получаемый этим КА об объектах зондирования:

$$V_i(x) = \sum_{s=1}^{S_i} \psi_j \sum_{j=1}^m v_{ijs} x_{ijs}, \quad (3)$$

где ψ_j – относительная важность j -го объекта;

v_{ijs} – объем информации о j -м объекте, получаемый i -м КА на s -м витке.

Тогда задачу планирования применения i -го КА можно представить в следующем виде:

$$x_i = \arg \max \{V_i(x_i) \mid A_i x_i \leq b_i\}. \quad (4)$$

Задачи (4) являются задачами дискретного (булевого) математического программирования и могут решаться с использованием соответствующих методов, рассмотренных в [11, 12].

Анализ планов целевого применения КА ДЗЗ, получаемых в ходе решения задач (4), позволяет заключить, что в процессе «раздельного» планирования возможно возникновение «конфликтов», выражающихся в назначении нескольких КА для просмотра одного и того же объекта, что приводит к нецелесообразному расходованию ресурса бортовых систем КА. Разрешение таких ситуаций возможно за счет учета ограничений вида

$$\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^{S_i} x_{ijs} \leq 1, j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

В целом несовместность операций наблюдения (конфликты) можно описать рефлексивным бинарным отношением R или соответствующим ему неориентированным графом конфликтов G без петель и кратных ребер, где вершинам соответствуют операции наблюдения, а ребрам – существующие между ними конфликты [13]. Соответствующий G гиперграф H (вершинам соответствуют операции наблюдения, а ребрам – подмножества конфликтующих операций) позволяет более компактно описывать возможности совместного проведения операций наблюдения. Пусть A_0 – матрица инцидентий такого графа, тогда программа обхода объектов будет допустимым планом, если $A_0 x \leq e$, где e – вектор, все компоненты которого равны единице. В дальнейшем матрицу A_0 будем называть связующей матрицей. Тогда задачу координационного планирования для всей группировки КА ДЗЗ с учетом разрешения конфликтов можно представить в виде:

$$\sum_{i=1}^n V_i(x_i) \rightarrow \max; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n A_{oi} x_i \leq e; \quad (7)$$

$$A_i x_i \leq b_i, i = \overline{1, n}; \quad (8)$$

$$x_i = \text{col}(x_{ijs}), x_{ijs} \in \{0, 1\}, \quad (9)$$

$$i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, s = \overline{1, S_i}.$$

Здесь A_{oi} – матрица конфликтов для i -го КА, $A_0 = \|A_{01} \ A_{02} \ \dots \ A_{0n}\|$.

Далее, имея в виду, что качество планирования системы в целом определяется качеством совместных действий подсистем, задача планирования целевого применения в целом может быть представлена в общем виде как

$$x^* = \arg \max \left\{ \sum_{i=1}^n V_i(x_i) \mid \sum_{i=1}^n A_{oi} x_i \leq e, x_i \in \Delta_i, i = \overline{1, n} \right\}. \quad (10)$$

Здесь Δ_i – множество допустимых планов применения i -го КА, задаваемых ограничениями (2).

Обозначим $|\Delta_i| = K_i, i = \overline{1, n}$ и сопоставим каждому q -му варианту допустимого плана булеву переменную δ_{iq} . Тогда задачу (7) можно переписать в виде:

$$\sum_{i=1}^n V_{iq} \delta_{iq} \rightarrow \max; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^{K_i} \alpha_{iq} \delta_{iq} \leq e; \quad (12)$$

$$\sum_{q=1}^{K_i} \delta_{iq} = 1, i = \overline{1, n}; \quad (13)$$

$$\delta_{iq} \in [0, 1], i = \overline{1, n}, q = \overline{1, K_i}. \quad (14)$$

Здесь $V_{iq} = V_i(x_{iq}), \alpha_{iq} = A_i x_{iq}$.

Поскольку все допустимые решения задачи (8) являются крайними точками многогранника, $\forall(iq): \delta_{iq} \geq 0$, то для них справедливы соотношения двойственности задачи математического программирования. Тогда критерием оптимальности некоторого решения $\delta = \|\delta_{iq}\|, i = \overline{1, n}, q = \overline{1, K_i}$ является условие [3]

$$\min_{i,q} \left[(\pi, \alpha_{iq}) - V_{iq} + \pi_i \right] \geq 0, \quad (15)$$

где (π, α_{iq}) – скалярное произведение векторов π и α_{iq} ;

π – вектор двойственных оценок условий задачи (8);

π_i – двойственная оценка i -го условия задачи (8).

Выражение (9) можно преобразовать следующим образом:

$$\begin{aligned} \min_{i,q} \left[(\pi, \alpha_{iq}) - V_{iq} + \pi_i \right] &= \min_i \left\{ \pi_i - \max_q \left[V_{iq} - (\pi, \alpha_{iq}) \right] \right\} = \\ &= \min_i \left\{ \pi_i - \max_{x_i \in \Delta_i} \left[V_i(x_i) - (\pi, A_{oi} x_i) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (16)$$

Здесь выражение $\max_{x_i \in \Delta_i} \left[V_i(x_i) - (\pi, A_{oi} x_i) \right]$ представляет собой самостоятельную оптимизационную задачу планирования целевого применения i -го КА, а скалярное произведение $(\pi, A_{oi} x_i)$ является механизмом, посредством которого координатор воздействует на подсистемы (модели планирования целевого применения КА), а именно через модификацию целе-

вых функций подсистем, причем компоненты вектора π можно интерпретировать как «цены» конфликтных ресурсов, выраженные в единицах глобальной критериальной функции.

Информационный обмен между координатором и подсистемами заключается в том, что координатор посылает в подсистемы значения координирующего сигнала, рассчитываемого для каждой подсистемы как

$$\omega_i = \pi^T A_{0i}, i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

а подсистемы посылают в Центр значения V_{iq}, x_{iq} , которые представляют собой множества вариантов планов и значений целевой функции им соответствующих, сообщаемых на каждом итерационном цикле согласования координатору.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Использование данного подхода при решении задачи координационного планирования применения группировки КА ДЗЗ можно реализовать в виде следующего алгоритма.

Шаг 0. Задается начальный номер итерации $r=1$. Координатор сообщает во все подсистемы одинаковый координирующий сигнал $\omega_i = 0, i = \overline{1, n}$.

Шаг 1. Подсистемы решают оптимизационные задачи вида:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^{S_i} \sum_{j=1}^m (v_{ijs} \psi_j - \omega_{ijs}) x_{ijs} \rightarrow \max; \quad (18)$$

$$A_i x_i \leq b_i; \quad (19)$$

$$x_i = \text{col}(x_{ijs}), x_{ijs} \in \{0, 1\}; \quad (20)$$

$$i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, s = \overline{1, K_i}.$$

В результате решения задач (12) находятся оптимальные планы целевого применения КА на r -й итерации $x_{ij}^{*r} = \text{col}(x_{ijs}^{*r})$. В соответствии с полученными значениями x_{ij}^{*r} производится

вычисление значений целевой функции $V_{ir}, V_{ir} = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^{S_i} \sum_{j=1}^m c_i x_{ijs}^{*r}$. Значения x_{ij}^{*r}, V_{ir} сообщаются координатору (в координирующую задачу).

Шаг 2. Строится и решается координирующая задача в виде:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{y=1}^r V_{iy} \delta_{iy} \rightarrow \max; \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{y=1}^r \alpha_{iy} \delta_{iy} \leq e; \quad (22)$$

$$\sum_{y=1}^r \delta_{iy} \leq 1, i = \overline{1, n}; \quad (23)$$

$$\delta_{iy} \in [0, 1], i = \overline{1, n}, y = \overline{1, r}.$$

Здесь вектор α_{iy} вычисляется как $\alpha_{iy} = A_{0i} x_{iy}^*, i = \overline{1, n}, y = \overline{1, r}$, где $\{x_{iy}^*\}, i = \overline{1, n}, y = \overline{1, r}$ – множество решений, переданных подсистемами координатору на r итерациях. Данная задача относится к классу задач линейного программирования и может решаться симплекс-методом.

Шаг 3. Производится расчет координирующих сигналов. В ходе решения задачи (13) симплекс-методом помимо решения прямой задачи вычисляется решение двойственной задачи –

π_r . Производится расчет координирующего сигнала для каждой подсистемы по формуле (11).

Шаг 4. Сравнивается значение полученного координирующего сигнала со значением координирующего сигнала на предыдущей итерации. Если выполняется условие $\pi_r = \pi_{r-1}$, то решения подсистем не будут меняться – получено оптимально решение, осуществляется переход на шаг 6.

Шаг 5. Изменяется номер итерации. Значения координирующего сигнала сообщаются в подсистемы. Переходим на шаг 1.

Шаг 6. Формируются оптимальные решения подсистем по правилу

$$x_i^* = \sum_{y=1}^r \delta_{iy}^* x_{iy}^*, i = \overline{1, n}. \quad (24)$$

Здесь $x_{iy}^*, i = \overline{1, n}, y = \overline{1, r}$ – решения i -й подсистемы, которые сообщались координатору на y -й итерации решения задачи; $\delta_{iy}^*, i = \overline{1, n}, y = \overline{1, r}$ – компоненты вектора оптимального решения координирующей задачи, полученного на последней итерации.

Пример решения задачи. В качестве примера рассматривается ситуация целевого планирования группировки, состоящей из трех КА и пяти объектов наблюдения, на интервале времени, соответствующем одному витку.

К моменту входа в ПВЗ (табл. 1) начальные углы визирования для КА составляют соответственно -10 и $+10$ градусов. Максимальная скорость изменения ориентации КА по углу рысканья для всех КА составляет $0,5$ градуса/ед.в.

Таблица 1

Пространственно-временная зона группового объекта

№ объекта	1	2	3	4	5
Траверзное время, ед.в.	10	20	30	40	50
Угол визирования, градус	-7	3	0	2	-5

Результаты планирования применения группировки, состоящей из двух КА ДЗЗ, представлены на рис. 1: а – для отдельного планирования; б – для координационного планирования. При осуществлении отдельного планирования (без согласования планов) осуществляется обзор четырех объектов из пяти. При этом третий и четвертый объекты наблюдаются дважды. При координационном планировании осуществляется обзор всех пяти объектов, двукратный обзор объектов не допускается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный на рис. 1 пример решения задачи позволил предположить, что использование координационного подхода для решения задачи планирования целевого применения группировки КА ДЗЗ позволяет повысить результативность ее применения за счет разрешения «конфликтов» (двукратный обзор объектов) между применениями различных КА.

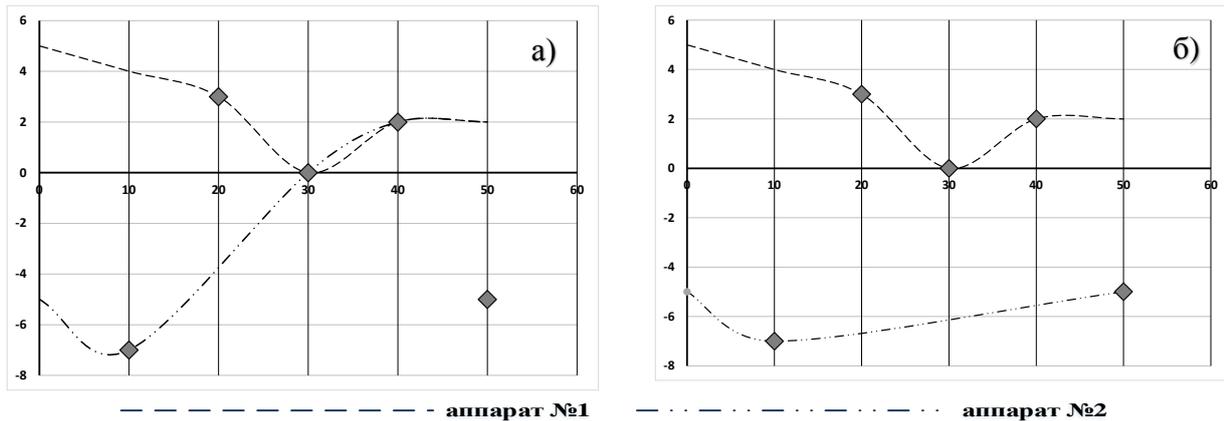


Рис. 1. Результаты планирования целевого применения КА ДЗЗ:
 а – раздельное планирование; б – согласованное (координационное) планирование

Список используемых источников

1. Бакланов А.И. Анализ состояния и тенденции развития систем наблюдения высокого и сверхвысокого разрешения // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 2. – С. 80–91.
2. Карсаев О.В. Обзор традиционных и инновационных систем планирования миссий космических аппаратов // Труды СПИИРАН. – 2016. – Вып. № 5(48). – С. 150–180.
3. Казак Б.В., Ваулин А.Е., Ваулин В.Г. Решение задачи оптимального размещения ограниченного ресурса методом динамического программирования // Сборник алгоритмов и программ типовых задач. – М.: МО СССР, 1978. – Вып. № 2. – С.245–251.
4. Черныш В.В., Мануйлов Ю.С. Оптимизация пространственных разворотов динамических объектов с присоединенным УДЭ // Методы и средства управления и контроля. – Л.: МО СССР, 1987. – С. 28–31.
5. Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли. – М.: Машиностроение, 1989. – 263 с.
6. Метод и алгоритм оптимального автономного целераспределения на борту космического аппарата наблюдения / Ю.С. Мануйлов, С.В. Зиновьев, Е.А. Новиков, И.Д. Белобоков // Сборник алгоритмов и программ типовых задач / под ред. И.А. Кудряшова. – МО РФ, 2005. – Вып. № 23. – С.31–53.
7. Власов В.А., Горбулин В.И., Панченко В.И. Оптимизация плана применения оптико-электронной аппаратуры космического аппарата дистанционного зондирования Земли при наблюдении заданных объектов // Информация и космос. – 2008. – № 4. – С. 51–56.
8. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства. – Л.: ЛГУ, 1959.
9. Данциг Дж. Линейное программирование, его обобщения и применение. – М.: Прогресс, 1966.
10. Колесников К.Г., Масалкин А.А., Москвин Б.В. Модель планирования применения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Вып. № 1(655). – С. 122–127.
11. Москвин Б.В. Теория принятия решений: учебник. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2005. – 385 с.
12. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование / под ред. Д.Б. Юдина. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
13. Москвин Б.В. Построение клик простого графа // Сборник алгоритмов и программ типовых задач. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1986. – Вып.7. – С. 66–72.

Д.Р. Абсалямов,
доктор техн. наук;
Р.Н. Аитов;
М.А. Марченко,
кандидат техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

Предлагается метод повышения показателей энергоэффективности и технико-экономических показателей систем гарантированного электропитания наземных комплексов космического назначения путем применения дизель-генераторных установок на базе асинхронизированного генератора. Рассматриваются экономические и эксплуатационные показатели дизельных электростанций, характеризующие их работу при переходе на использование асинхронизированного генератора с переменной частотой вращения. Проведен анализ достоинств и недостатков, а также возможности применения дизель-генераторных установок с переменной частотой вращения в технических системах наземных комплексов.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, асинхронизированный генератор, энергоэффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Успешное функционирование наземных комплексов космического назначения (НККН) в значительной степени зависит от бесперебойной работы специальных технических систем, важнейшей из которых является система гарантированного электропитания (СГЭП).

СГЭП предназначена для бесперебойного и гарантированного обеспечения всех потребителей НККН электрической энергией в соответствии с государственными стандартами, определяющими требования к качеству электроэнергии в режимах дежурства, боевой работы, а также при аварийных отключениях от основных источников.

Как наиболее совершенные и экономичные в таких системах получили распространение дизель-генераторные установки (ДГУ) с агрегатной мощностью от 5 до 4000 кВт. В качестве преобразователей механической энергии в электрическую энергию в ДГУ используются синхронные машины (СМ) [3], воспринимающие подчас неравномерную и нестабильную нагрузки, являющиеся вредными режимами для работы генератора.

В статье предложен метод подстройки генератора СГЭП к резкопеременной характеристике сети с применением асинхронизированного генератора с переменной частотой вращения.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

Опыт проектирования и эксплуатации систем автономного электроснабжения (САЭ) НККН показывает, что графики нагрузок автономных источников имеют резкопеременный характер, это проиллюстрировано на примере графика нагрузок технического комплекса РКН «Рокот» при проведении штатных работ (рис.1) [4]. Видно, что большую часть времени источники работают на долевых нагрузках, составляющих 30–40% от номинальной мощности источников. Автономные источники на базе ДГУ с синхронными генераторами (СГ)

вследствие работы на резкопеременных нагрузках имеют невысокую эффективность по следующим основным причинам [2, 3]:

– длительная работа САЭ на долевых нагрузках приводит к существенному перерасходу топлива, масла, воды и воздуха, а также к повышенному износу узлов и деталей ДГУ;

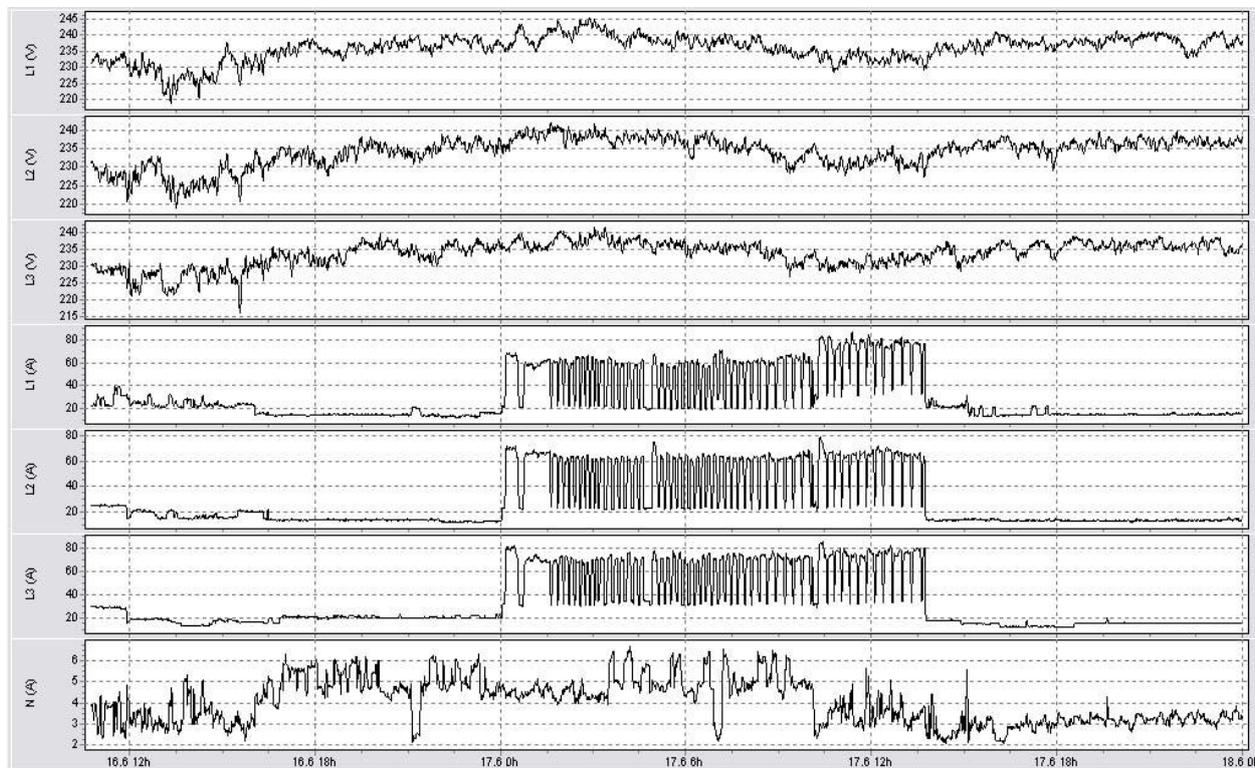


Рис 1. Графики напряжений и токов на ТК 14П46 (16.06.2011–17.06.2011) РКН «Рокот»

– провалы частоты вращения двигателей внутреннего сгорания (ДВС) при динамических изменениях нагрузки могут привести к рассинхронизации ДГУ;

– провалы частоты вращения ДВС в динамических режимах препятствуют применению высокого наддува, что приводит к недоиспользованию ДГУ по мощности до 30%;

– работа автономных источников на долевых нагрузках характеризуется низкими потенциальными уровнями энергии выхлопных газов и охлаждающей воды, что резко снижает эффективность высокотемпературных и низкотемпературных форсированных систем охлаждения и систем утилизации теплоты ДГУ. При снижении нагрузки на ДВС уменьшается соответственно и общее количество теплоты, отводимое с отработавшими газами и охлаждающей водой. При этом пропорционально снижению нагрузки падает температура отработавших газов и сокращается их доля, пригодная для практического использования. Уже при нагрузке двигателей менее 40–50% от номинальной мощности использовать теплоту отработавших газов из-за уменьшения их температуры до 175–200°C не представляется возможным;

– избыток воздуха в цилиндрах ДВС при работе на долевых нагрузках приводит к снижению температуры газовой смеси и, как следствие, к неполному сгоранию топлива, закоксовыванию форсунок и камер сгорания.

При совершенствовании конструкции ДГУ в основном решались следующие задачи [2]:

- увеличение экономичности (снижение удельных расходов топлива g_e масла g_m);
- улучшение массогабаритных показателей при повышении ресурса;
- повышение качества вырабатываемой электроэнергии как в статических, так и в динамических (переходных) режимах работы;
- совершенствование системы автоматического управления и регулирования.

Основными объектами исследования и совершенствования в ДГУ были и остаются процессы смесеобразования и сгорания, наддув, обслуживающие системы (смазки, охлаждения) и регулятор частоты вращения; в СМ – системы возбуждения и регулирования напряжения. На современном этапе работ по совершенствованию тепломеханической части ДГУ достигнуты заметные положительные результаты: повышены значения индикаторного η_i и эффективного η_e КПД дизеля, КПД генератора, номинальные значения среднего эффективного давления p_e , увеличен ресурс, созданы самовозбуждающиеся СМ и полупроводниковые регуляторы напряжения и т.д.

Однако дальнейшие работы по совершенствованию ДГУ с СМ существенного технико-экономического эффекта не дают. Особенно ощутимы недостатки «союза» высокофорсированного дизеля с СМ в переходных процессах и на долевых режимах их работы.

Дело в том, что с СМ, как правило, сочленяются дизели, созданные для транспортных энергоустановок (судовые, автотракторные, многоцелевые). Значения номинальных мощностей $N_{e\text{ном}}$ и частот вращения $n_{\text{ном}}$ таких дизелей часто выше соответствующих параметров стандартного ряда СМ. Например, судовые дизели типа 12ЧН18/20 мощностью $N_{e\text{ном}} = 660 \div 880$ кВт (в зависимости от характеристик наддува) при $n_{\text{ном}} = 1700$ об/мин, ЧН13/14 (ЯМЗ) – при $n = 2200$ об/мин, а у синхронных машин, комплектуемых в паре с ним, – при $n = 1500$ об/мин и $n = 1000$ об/мин, причем номинальная мощность последних намного меньше $N_{e\text{ном}}$ дизеля при соответствующем n (по ограничительной характеристике).

Кроме того, при проектировании автономных систем электроснабжения принимается определенный резерв мощности. В результате ДГУ во время эксплуатации редко работает с нагрузкой, близкой к номинальной, а дизели всегда работают на частичных, обычно малых, нагрузках.

Анализ выборочных графиков автономных систем электроснабжения самого различного назначения, а также сведений, опубликованных в научно-технической литературе, позволяет предполагать, что интегральное распределение относительного времени работы $\sum_0^1 \bar{T} = \sum_0^1 T_i / T_p$ с относительной нагрузкой $N_e = N_{ei} / N_{e\text{ном}}$ (здесь $\sum_0^1 T_i$ – суммарное время работы ДГУ при нагрузке $N_e = 0 - N_{ei}$; T_p – ресурс ДГУ) может быть представлено полем между кривыми 1 и 2, изображенными на рис.2. Как видно из рис.2, ДГУ от 5 до 15% времени работают на холостом ходу, 90 % – с $N_e \leq 0,6 \div 0,8$. Средняя эксплуатационная нагрузка ($\sum T = 0,5$) составляет 30–62% от номинальной [1].

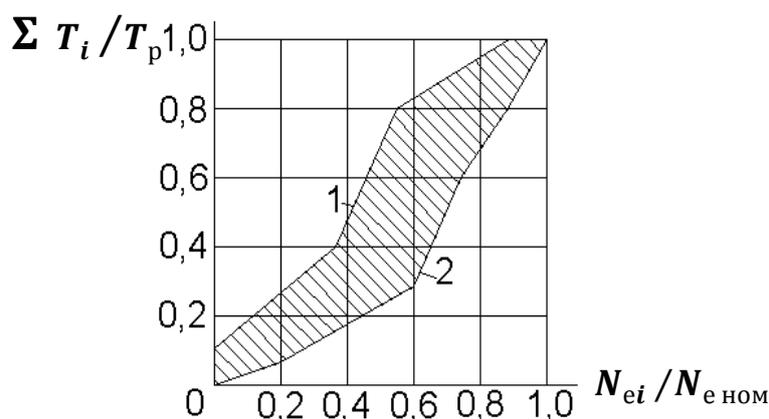


Рис. 2. Интегральное распределение относительного времени работы ДГУ при различных нагрузках (1 и 2 – наименьший и наибольший резервы установленной мощности)

Характерная особенность ДГУ с СМ – их работа при $n = \text{const}$ и с уменьшением N_e , начиная с $N_e \approx 0,75 \div 0,8$, эффективный КПД η_e работы дизеля уменьшается. Таким образом, при

наиболее характерных эксплуатационных режимах экономические показатели ДГУ заметно хуже паспортных [2, 5].

ПОДДЕРЖАНИЕ КАЧЕСТВА ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАХ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

Задача поддержания стабильной частоты тока f в ДГУ с СМ целиком возлагается на регулятор скорости дизеля. По мере повышения уровня форсирования дизеля по p_e за счет наддува эта задача, особенно в динамических режимах (резкое изменение нагрузки), усложняется.

В настоящее время работы по улучшению показателей ДГУ на долевых нагрузках и в динамических режимах проводятся в основном в направлении совершенствования дизеля и его систем. Предложено и исследовано много различных способов увеличения η_e , а также ослабления отрицательных последствий длительной работы дизеля на долевых нагрузках, которые, к сожалению, не нашли широкого практического применения [2, 3].

Конструктивные решения по стабилизации f в динамических режимах (двухимпульсные регуляторы скорости, дополнительное воздухообеспечение дизеля из баллонов и т.п.) усложняют установку и ее управление. Эти сложные задачи могут быть решены более успешно, если поиск направить в сторону совершенствования не только дизеля, но и электромеханического преобразователя.

Качественно новой ступенью развития автономных источников являются разработка и создание ДГУ с асинхронизированными синхронными генераторами (АСГ), необходимое качество электроэнергии которых и ряд основных технико-экономических показателей обеспечивается в широком диапазоне путем изменения частоты вращения вала ДГУ.

Работы, выполненные в московском энергетическом институте (МЭИ), ЛВВИСУ (1968–1977) [1], в ВКА имени А.Ф. Можайского (2005–2014) [4] и привели к созданию автономного асинхронного полупроводникового каскада (ААПК) и экспериментальных установок, показавших принципиальную возможность и целесообразность использования асинхронизированных машин (АМ) в автономных системах электроснабжения. Для подтверждения возможности использования ААПК в ДГУ была создана экспериментальная установка. Она разработана на базе ДГ-25/1-2 с дизелем типа 4Ч10,5/13 и ААПК, оборудована необходимыми контрольно-измерительными приборами и нагрузочным устройством, которое позволяло изменять нагрузку плавно и скачком. Суть использования АМ в качестве электромеханического преобразователя состоит в том, что возбуждение асинхронного генератора осуществляется не постоянным, а переменным током с частотой, равной частоте скольжения. Благодаря этому, при использовании задатчика частоты и полупроводникового преобразователя частоты в цепи возбуждения АМ обеспечивается высокая стабильность частоты f при изменениях частоты вращения ($n = var$).

В принципе, стабильность f обеспечивается в зоне изменения $0,5n_c \leq n \leq 1,5n_c$, где n_c – синхронная частота вращения ротора. Для того чтобы обеспечить стабильность во всех возможных режимах, в том числе и динамических, регулирование n следует производить в диапазоне

$$\frac{0,5}{1-\Delta n_{\text{набр}}} n_c \leq n \leq \frac{0,5}{1+\Delta n_{\text{сбр}}} n_c.$$

В этой формуле $\Delta n_{\text{набр}} = \frac{n-n'}{n}$ – максимальное относительное изменение при резком увеличении нагрузки от 0 до 100%; $\Delta n_{\text{сбр}} = \frac{n'-n}{n}$ – то же при уменьшении нагрузки [1].

Характер зависимости КПД от нагрузки для СМ и АМ почти одинаков. Абсолютные значения КПД электромеханической части ДГУ при применении АМ на номинальном режиме несколько ниже, чем у СМ такой же мощности. Однако с уменьшением нагрузки разница между ними уменьшается, а при $\bar{N}_i \leq 0,4 \div 0,5$ – КПД АМ превышает КПД СМ. С учетом этих замечаний интересно сравнить экономичности ДГУ с СМ и ДГУ с АМ. Для примера

рассмотрим универсальную характеристику ДГУ с дизелем типа 6Ч15/18 и АМ мощностью 100 кВт. Исходные данные для расчета этой характеристики по КПД АМ приняты из расчетов и представлены на рис.3,а.

Как видно из рис.3,а, при изменении n в соответствии с N_e по линии ВС в диапазоне $62 \leq N_e \leq 100$ кВт обеспечивается работа ДГУ с удельным эффективным расходом топлива $275 \leq b_e \leq 290$ г/(кВтч). При этом дизель работает почти с одинаковыми значениями среднего эффективного давления p_e и при более благоприятных индикаторных и эффективных показателях. При $N_e < 62$ кВт дизель-генераторная установка с АМ работает по нагрузочной характеристике с $n = 1000$ об/мин = const. В этих условиях при одинаковых нагрузках b_e заметно меньше, чем при $n = 1500$ об/мин, в основном вследствие роста механического КПД из-за снижения механических потерь.

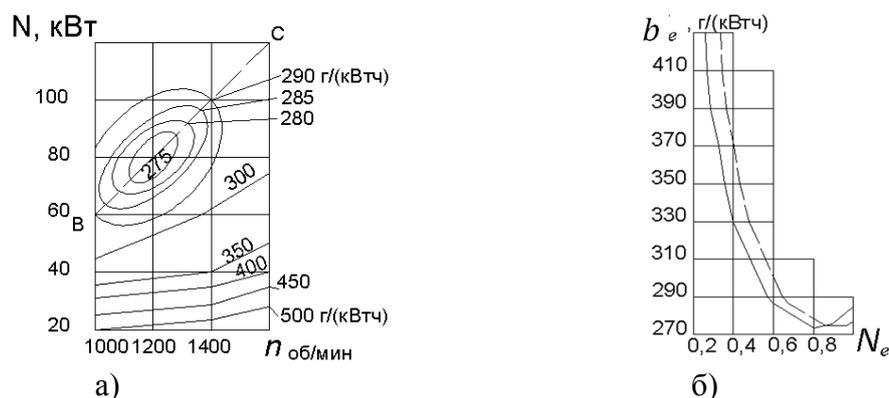


Рис. 3. Экономические характеристики:

а – универсальная характеристика ДГУ с АМ ($N_e = 100$ кВт); б – графики зависимости удельного расхода топлива от нагрузки ДГУ с АМ

Для наглядности на рис.3,б показаны графики $b_e = f(N_e)$ ДГУ с СМ (пунктирная линия) и ДГУ с АМ одинаковой мощности при оптимальном регулировании n в соответствии с нагрузкой (по линии СВ, рис.3,а). На абсолютном большинстве эксплуатационных режимов ДГУ с АМ оказываются экономичнее ДГУ с СМ, причем разница в b_e составляет десятки грамм на выработку единицы мощности. На средних нагрузках b_e уменьшается от 12 до 43 г/(кВт ч). При $N_e > 0,85$ у ДГУ с АМ значение b_e больше. Однако если учесть, что суммарное время работы ДГУ на этих режимах не превышает 2–10% (см. рис.2), то можно с уверенностью утверждать, что расход топлива у ДГУ с АМ при эксплуатации будет заметно меньше, чем у ДГУ с СМ [1, 5].

ОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДГУ С АСИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАГРУЗКИ

Для определения оптимального закона управления ДГУ с АСГ, обеспечивающего максимальную энергоэффективность, были проведены экспериментальные исследования. Основная задача экспериментальных исследований состояла в определении оптимального закона регулирования $n = f(N)$, она значительно усложнялась многофакторностью эксперимента. Для получения объективной информации и большей достоверности последующих обобщений был использован метод математического планирования эксперимента, позволивший значительно сократить объем исследований.

Исходя из задачи экспериментальных исследований (определение характеристик ДГУ с АСГ в возможном диапазоне изменения мощности и частоты вращения) за основу принят метод двухфакторного математического планирования.

При экспериментальных исследованиях прежде всего задавались целью показать, что и при минимальных изменениях в конструкции дизеля или даже вообще без его изменений применение ДГУ с АСГ позволяет существенно улучшить его технико-экономические показатели.

Для выполнения исследований был принят ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) двухфакторного эксперимента: первый фактор x_1 – частота вращения; второй x_2 – мощность ДГУ с АСГ.

Результаты расчета определялись в виде полинома второго порядка:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (1)$$

При построении плана эксперимента для факторов в центре плана x_{0i} и интервалов их варьирования Δx_i были приняты следующие значения: $x_{01} = 1400$ об/мин, $\Delta x_1 = 200$ об/мин. Таким образом, верхний предел частоты вращения ДГУ (1600 об/мин) выбран из-за максимальной паспортной частоты вращения дизеля, нижний (1200 об/мин) – из-за резкого насыщения железа возбuditеля при снижении частоты вращения ниже 1200 об/мин, что приводит к ухудшению качества напряжения: $x_{02} = 11,5$ кВт; $\Delta x_2 = 9,5$ кВт.

План активного эксперимента со значениями факторов в некодированном виде и средние значения результатов его реализации приведены в табл. 1.

Таблица 1

План активного эксперимента

Уровни факторов		Измеряемые величины									
Частота вращения, об/мин	Нагрузка, кВт/ч	ν_e , кг/кВт·ч	t_r , °C	α	%						ξ_u , 10^2 мг/цикл
					$\bar{\eta}_n$	$\bar{\eta}_c$	$\bar{\eta}_e$	$\bar{\eta}_z$	$\bar{\eta}_i$	$\bar{\eta}_m$	
1200	2,00	1,625	160	3,32	0,79	11,60	5,70	49,0	34,0	34,0	22,6
1600	2,00	1,900	174	3,50	0,76	10,60	4,50	45,0	34,0	29,4	19,8
1200	21,0	0,400	480	1,14	0,73	16,86	21,5	80,0	37,0	72,6	58,4
1600	21,0	0,399	350	1,54	0,72	27,16	22,0	81,0	37,0	73,4	44,0
1200	11,5	0,465	260	1,90	0,73	24,67	18,5	75,0	34,5	71,5	37,2
1600	11,5	0,508	246	2,27	0,75	22,57	17,1	76,0	37,0	61,0	30,5
1400	2,00	1,725	168	3,50	0,77	10,50	5,20	50,0	35,0	30,0	20,5
1400	21,0	0,391	390	1,40	0,75	27,00	22,0	81,5	37,0	73,0	48,8
1400	11,5	0,485	252	2,20	0,75	24,48	18,0	73,5	36,0	68,0	33,2

Для вычисления коэффициентов регрессии была использована программа, разработанная для ЭВМ. В качестве исходных данных для расчетов по разработанной программе использовались среднеарифметические значения контролируемых параметров по данным трех измерений на установившемся режиме. В результате получены следующие уравнения регрессии:

– удельный эффективный расход топлива

$$b_e^{ДГУ} = 0,475 + 0,052x_1 - 0,676x_2 - 0,069x_1x_2 + 0,015x_1^2 + 0,587x_2^2; \quad (2)$$

– температура уходящих газов

$$t_r = 247,1 - 21,7x_1 + 119,7x_2 - 36,0x_1x_2 + 8,3x_1^2 + 3,4x_2^2; \quad (3)$$

– коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = 2,182 + 0,158x_1 - 11,039x_2 + 0,054x_1x_2 - 0,088x_1^2 + 0,276x_2^2; \quad (4)$$

– КПД АДГ

$$\eta_e^{ДГУ} = 18,02 - 0,35x_1 + 8,35x_2 + 0,43x_1x_2 - 0,21x_1^2 - 4,41x_2^2; \quad (5)$$

– механический КПД дизеля

$$\eta_m = 66,957 - 2,381x_1 + 20,931x_2 + 1,347x_1x_2 - 0,1x_1^2 - 14,85x_2^2 ; \quad (6)$$

– цикловая подача топлива

$$g_{\text{ц}} = 33,090 - 4,317x_1 + 15,030x_2 - 2,417x_1x_2 + 0,833x_1^2 + 1,665x_2^2 , \quad (7)$$

где $x_1 = \frac{n-1400}{200}$; $x_2 = \frac{p_n-11,5}{9,5}$.

Полученные математические модели (2)–(7) позволяют построить универсальные характеристики и проанализировать показатели ДГУ в широких интервалах варьирования факторов.

Исследование уравнения (2) на экстремум показывает, что поверхность отклика (изменения $b_e^{\text{ДГУ}}$) представляет собой эллиптический параболоид с экстремальной точкой с координатами $x_1 = -0,47$; $x_2 = 0,55$. В этой экстремальной точке $b_e^{\text{ДГУ}} = 0,278$ кг/(кВтч).

При любой нагрузке минимальный удельный расход топлива имеет место при определенной частоте вращения [5]. Для обеспечения минимального эксплуатационного расхода топлива следует частоту вращения изменять по зависимости $x_1 = 14,52x_2 - 8,46$, полученной путем вычисления первой производной от выражения (2).

По уравнениям (2)–(7) построены графики изменения параметров в зависимости от нагрузки (пунктирные линии на рис.4). Для сравнения: на этих же рисунках сплошными линиями показаны изменения соответствующих параметров ДГУ с СГ, работающей по нагрузочной характеристике при $n = 1500$ об/мин = const.

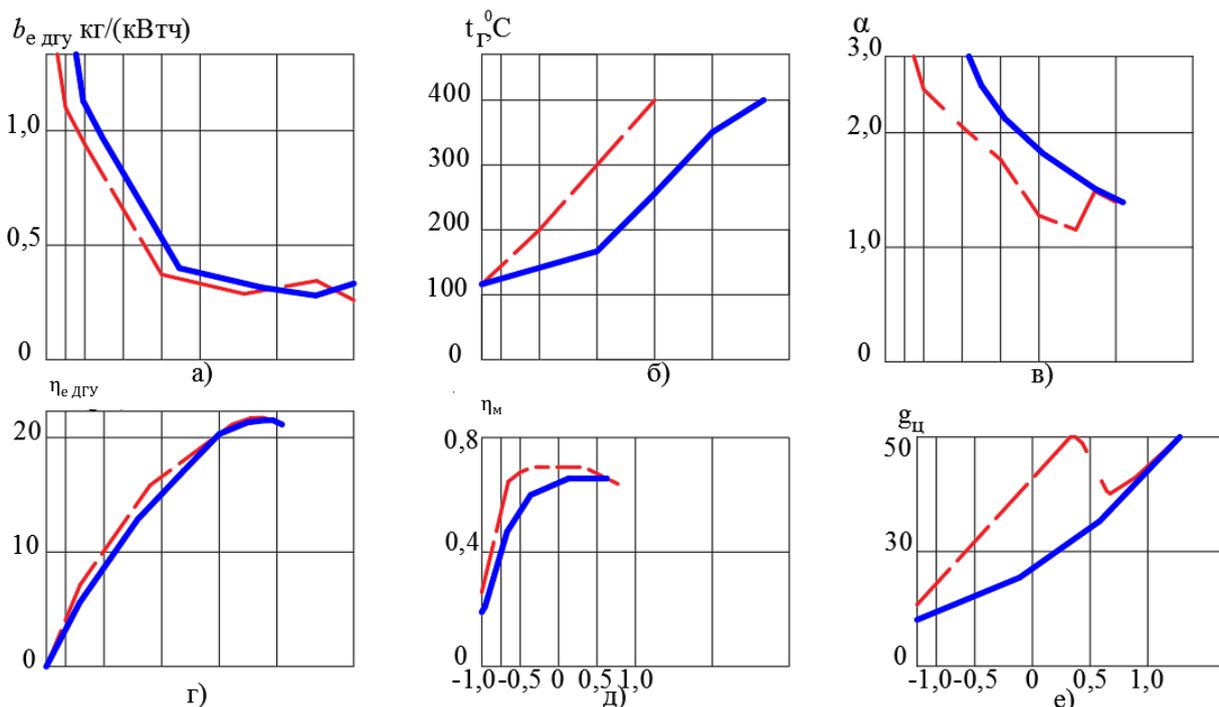


Рис.4. Зависимости $b_e^{\text{ДГУ}}$, $t_{\text{Г}}$, α , $\eta_e^{\text{ДГУ}}$, η_m , $g_{\text{ц}}$ от нагрузки при $n = \text{var}$

Как видно из рис 4,а, на абсолютном большинстве нагрузочных режимов ДГУ с АГ оказываются экономичнее ДГУ с СГ, причем разница в $b_e^{\text{ДГУ}}$ составляет десятки единиц. Основная причина повышения экономичности ДГУ с АГ – увеличение механического КПД (рис.4,д) вследствие уменьшения мощности механических потерь из-за снижения частоты вращения.

Кроме того, благодаря меньшему изменению цикловой подачи (рис.4,е) и коэффициента избытка воздуха (рис.4,в) на средних нагрузках наблюдаются меньшие изменения индикатора

торного КПД и теплового состояния деталей двигателя. Последнее косвенно подтверждается характером изменения температуры отработавших газов (рис.4,б).

При нагрузках, близких к номинальной, удельный расход топлива ДГУ с АГ несколько больше, чем у ДГУ с СГ. Однако если учесть, что суммарное время работы ДГУ на этих режимах очень мало, то это не приведет к увеличению расхода топлива во время эксплуатации. Расчеты показывают, что при интегральных распределениях относительного времени работы ДГУ, при различных нагрузках, применение АГ, позволяющего обеспечить требуемое качество электроэнергии при функциональном регулировании частоты вращения по оптимальной зависимости $n = f(p_e)$, дает возможность:

- уменьшить расход топлива во время эксплуатации на 8,5–22%;
- снизить расход топлива на угар и увеличить расчетный ресурс дизеля в 2–2,8 раза.

Испытания экспериментальной установки в динамических режимах (сброс и наброс нагрузки) показали, что переходные процессы таких ДГУ имеют удовлетворительные показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что наряду с уменьшением расхода топлива существенно увеличивается ресурс ДГУ с АСГ. В самом деле, если при применении двухчастотного синхронного генератора в системах автономного электроснабжения ресурс ДГУ увеличивается в полтора-два раза в зависимости от распределения нагрузки во время эксплуатации, то в ДГУ с АСГ, вследствие оптимального плавного (а не ступенчатого) изменения, в соответствии с N_e увеличение ресурса будет еще больше.

Наконец, применение АСГ может упростить решение задачи стабилизации f при резких изменениях нагрузки высокофорсированных ДГУ на наземных комплексах космического назначения.

Необходимо отметить, что ДГУ с АСГ требуют отдельных исследований. К их числу можно отнести исследование переходных процессов при набросах нагрузки на объектах НККН, доработку всережимного регулятора дизелей с целью обеспечения оптимального регулирования $n = f(N_e)$, разработку конструкции асинхронного генератора и системы его возбуждения. Однако наличие этих проблем не исключает благоприятных перспектив развития и совершенствования ДГУ с АСГ. Также результаты приведенного сравнительного анализа подтверждают целесообразность использования и внедрения ДГУ с АСГ как автономного источника электропитания в составе СГЭП ввиду резкопеременных нагрузок в системе электроснабжения стартовых и наземных комплексов.

Список используемых источников

1. Дружинин П.В., Чмиль В.П. Перспективы развития энергоисточников транспортных средств. – СПб.: ВИТУ, 2004. – 110 с.
2. Росляков Е.М. Энергосиловое оборудование технических систем наземных сооружений космических комплексов. – МО РФ, 2000. – 453 с.
3. Ченцов В.Н., Гладкевич В.В. Тепломеханическое оборудование автономных источников электроснабжения ВИКИ. – МО РФ, 1973 – 310 с.
4. Отчет о выполнении научно-технической работы по обследованию технического состояния системы электроснабжения объектов наземной космической инфраструктуры войсковой части 13991. – СПб.: ИКЦСЭКТ, 2005. – 459 с.
5. Обеспечение надежности систем гарантированного электропитания наземных комплексов космического назначения методом формализации поиска отказов и выбора минимального множества контролируемых признаков / Д.Р. Абсалямов, Р.Н. Аитов, А.А. Левчук, М.А. Марченко // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 1. – С. 9–14.

А.И. Авсеенко,
кандидат техн. наук;
В.И. Гнатюк,
доктор техн. наук, профессор
филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Калининград;
С.А. Дорофеев,
кандидат техн. наук
филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Калининград;
О.Р. Кивчун,
кандидат техн. наук
филиал ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Калининград

СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ПРОЦЕДУР РАНГОВОГО АНАЛИЗА

В статье рассматривается алгоритм снижения электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса в рамках модели синтеза процедур рангового анализа. В данном алгоритме впервые обоснован и применен коэффициент управления для снижения электропотребления объектов комплекса.

Ключевые слова: ранговый анализ, S -матрица, доверительный интервал, коэффициент управления для снижения электропотребления.

ВВЕДЕНИЕ

Энергоснабжение является первостепенной задачей для обеспечения жизнедеятельности любого региона нашей страны. А еще более актуальны вопросы энергоснабжения стратегически важных объектов, находящихся на территории региона. Проблемы, связанные с энергосбережением, также актуальны для этих объектов, но имеют свою специфику. В федеральном законе «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 №261-ФЗ и ряде других нормативных документов определяются общие подходы к формированию стратегий энергосбережения, но ни один из них не учитывает особые требования к объектам Министерства обороны.

Сложность задач по формированию методик оптимального энергопотребления для объектов со значительным энергопотреблением обуславливает необходимость применения математического аппарата, базирующегося на ранговом анализе [12]. Ранговый анализ как основной инструмент технoценoлогического подхода метода исследований систем базируется на трех фундаментальных основаниях: технократическом подходе к окружающей реальности, негауссово́й математической статистике устойчивых безгранично делимых гиперболических распределений и началах термодинамики.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

В рамках теории оптимального управления электропотреблением технoценoзов была создана статическая модель оптимального управления электропотреблением [2]. Данная теория прошла широкую апробацию и реализацию на объектах регионального электротехнического комплекса (РЭК) Калининградской области [7, 10].

Стандартными процедурами модели стали интервальное оценивание, прогнозирование, нормирование и потенцирование, которые с целью уточнения уже на втором этапе были дополнены тонкими процедурами дифлекс-анализа (на этапе интервального оценивания),

GZ-анализа (на этапе прогнозирования), ASR-анализа (на этапе нормирования) и ZP-анализа (на этапе потенцирования) (рис. 1) [2–6].



Рис. 1. Процедуры оптимального управления электропотреблением РЭК

Статическая модель позволяла довольно хорошо решать задачи управления электропотреблением РЭК на небольших горизонтах прогнозирования, однако обладала рядом недостатков, основным из которых было отсутствие внутренних обратных связей управления. На третьем этапе развития теории статическая модель была дополнена моделью синтеза процедур рангового анализа (рис. 2) [1, 8, 12].

При реализации данной модели последовательно осуществляются этапы формирования базы данных техноценоза, экспорт, сортировка и визуализация данных, их верификация, проверка на соответствие критериям H -распределения, построение и аппроксимации рангового распределения. На следующих этапах алгоритма осуществлялось комплексирование процедур рангового анализа: мониторинг результатов процедур рангового анализа на наличие ошибок и отклонений, выбор необходимых алгоритмов процедур рангового анализа для устранения ошибок и отклонений, выявленных в результате мониторинга, и снижение электропотребления объектов техноценоза на основе управляющего воздействия.

При реализации мониторинга результатов стандартных процедур рангового анализа впервые был применен S -индикатор. S -индикатор – функционал, включающий в себя систему индикаторных функций, определенных на множестве значений, полученных в результате процедур рангового анализа, которые определяют логику принятия решения. В рамках теории алгоритмов для S -индикатора были определены индикаторные функции и их вероятности, с помощью которых осуществляется сигнализация ошибок и отклонений стандартных процедур рангового анализа.

Аналитически индикаторные функции можно записать в следующем виде [9, 12]:

$$I_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 0; \\ 0, & \text{if } x < 0; \end{cases} \quad I_p(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 15\%; \\ 0, & \text{if } x < 15\%; \end{cases} \quad I_N(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x > 15\%; \\ 0, & \text{if } x < 15\%, \end{cases} \quad (1)$$

- где $I_A(x)$ – индикаторная функция определения аномальных объектов;
 $I_p(x)$ – индикаторная функция определения прогнозных значений;
 $I_N(x)$ – индикаторная функция определения норм;
 x – параметры процедур рангового анализа.



Рис. 2. Алгоритм модели синтеза процедур рангового анализа

На этапе выбора комплексных алгоритмов для устранения ошибок и отклонений стандартных процедур рангового анализа был впервые реализован алгоритм на основе комплексного показателя. Осуществлены следующие операции: построение ОДЗ, распределение объектов на три группы (выше, ниже и внутри ОДЗ) и формирование для каждой группы комплексного алгоритма (рис.3).

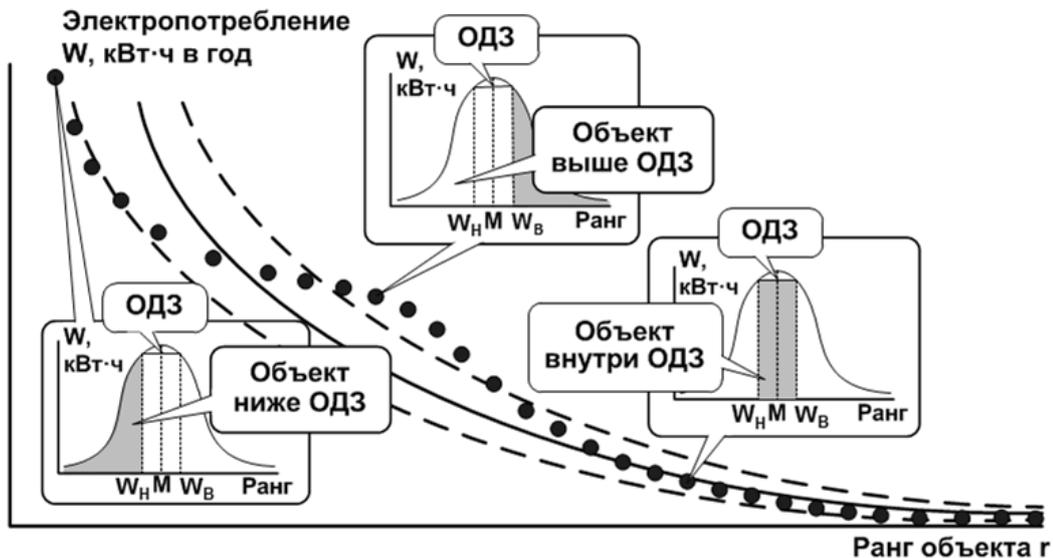


Рис. 3. Распределение на группы объектов РЭК

В качестве критерия эффективности модели синтеза процедур рангового анализа использовался коэффициент управления снижением электропотребления.

Рассмотрим подробно алгоритм получения снижения электропотребления на примере РЭК Калининградской области.

Данный алгоритм начинается с проверки элементов C -матрицы на наличие корреляционной связи [7, 8, 10]. Для такой проверки на основе C -матрицы формируется ковариационная матрица. По определению ковариационная матрица должна быть симметричной и неотрицательно определенной, т.е. ее собственные числа должны быть вещественными, неотрицательными. Элементы ковариационной матрицы являются ковариациями случайных величин x_i и x_j при $i \neq j$, а диагональные элементы – дисперсиями и вычисляются по следующим выражениям [11]:

$$k_{i,j} = M[(x_i - m_i)(x_j - m_j)], d_{i,j} = M[(x_j - m_j)^2], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

- где $k_{i,j}$ – элементы ковариационной матрицы;
 $d_{i,j}$ – дисперсии ковариационной матрицы;
 x_i, x_j – случайные величины;
 m_i, m_j – математическое ожидание случайных величин;
 n – количество элементов ковариационной матрицы.

Дисперсии $d_{i,j}$ характеризуют рассеивание реализаций компонент случайного вектора относительно средней точки $m_x = \text{col}(m_1, \dots, m_n)$, а ковариации $d_{i,j}$ – степень линейной зависимости между случайными величинами x_i и x_j . В частности, при линейной связи между x_i и x_j ковариация между ними составит $k_{i,j} = \pm \sigma_i \sigma_j$. Так как всегда $|k_{i,j}| \leq \pm \sigma_i \sigma_j$, то при линейной зависимости x_i и x_j модуль $|k_{i,j}|$ максимален [4].

На следующем этапе проверки корреляционной связи элементов C -матрицы осуществляется нормирование элементов ковариационной матрицы, по результатам которого формируется корреляционная матрица (рис. 4).

В результате анализа полученной корреляционной матрицы удалось установить, что все коэффициенты корреляции значимы, следовательно, элементы C -матрицы связаны линейным соотношением, при котором изменение одних элементов C -матрицы влечет изменение распределения других, и эти другие величины принимают некоторые значения с определенными вероятностями.

Следовательно, по результатам проверки корреляционной связи элементов C -матрицы можно сделать вывод о возможности их комплексного применения в ранговом анализе.

$$\frac{C1^T \cdot C1}{\text{rows}(C1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0,945 & 0,932 \\ 0,945 & 1 & 0,996 \\ 0,932 & 0,996 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 4. Корреляционная матрица

На следующем этапе алгоритма снижения электропотребления объектов РЭК осуществляется выбор объектов, для которых будут направлены операции данного алгоритма. Такими объектами будут являться те, у которых величина электропотребления превосходит верхнюю границу ПДИ (рис. 5). Данное утверждение основывается на следующем.

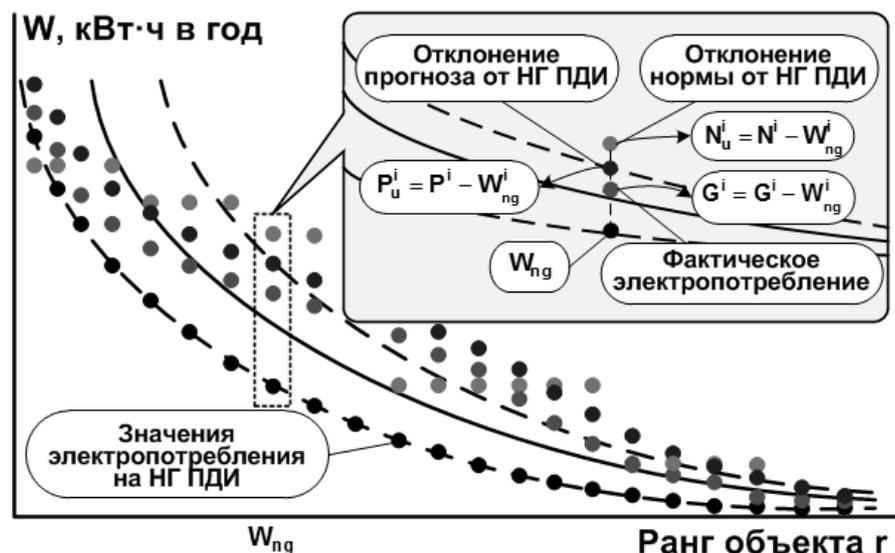


Рис. 5. Выбор элементов S -матрицы выше верхней границы ПДИ

Если точка входит в переменный доверительный интервал, то в пределах гауссового разброса параметров можно судить, что данный объект потребляет электроэнергию нормально для своего участка разбиения рангового распределения. Если точка находится ниже доверительного интервала, то это, как правило, свидетельствует о нарушении нормального технологического процесса электропотребления на данном объекте (частые отключения электроэнергии, неплатежи, избыточная экономия и т.п.). Если точка находится выше интервала, то на соответствующем объекте имеет место аномально большое потребление электроэнергии. Именно на эти объекты в первую очередь должны нацеливаться углубленное энергетическое обследование и управляющее воздействие. Последовательная (на протяжении ряда лет) реализация снижения электропотребления на основе управляющего воздействия совместно с оцениванием жизнеспособности объектов по электропотреблению позволит каждый раз целенаправленно воздействовать на наиболее «слабые» объекты, при этом средства, нацеленные на проведение энергетических обследований, будут расходоваться наиболее эффективно, а общее электропотребление техноценоза будет постоянно снижаться [7, 8, 10].

Таким образом, в результате обоснования выбора объектов для снижения электропотребления, была сформирована S -матрица, значения элементов которой находятся выше верхней границы ПДИ (рис. 6).

	1	2	3	4	5
AD	0.031	0.129	0.22	0.256	0.316
PU	16.783	271.975	$3.774 \cdot 10^3$	904.435	431.655
NU	$2.568 \cdot 10^3$	$2.568 \cdot 10^3$	$2.568 \cdot 10^3$	$2.568 \cdot 10^3$...

Рис. 6. S -матрица объектов выше НГ ПДИ:
AD – вектор дифлекс-параметров объектов выше НГ ПДИ;
PU – вектор прогнозных значений объектов выше НГ ПДИ;
NU – вектор норм объектов выше НГ ПДИ

В рамках следующего этапа алгоритма снижения электропотребления осуществляются расчет ОДП и ранжирование элементов S -матрицы по данному параметру (рис. 7).

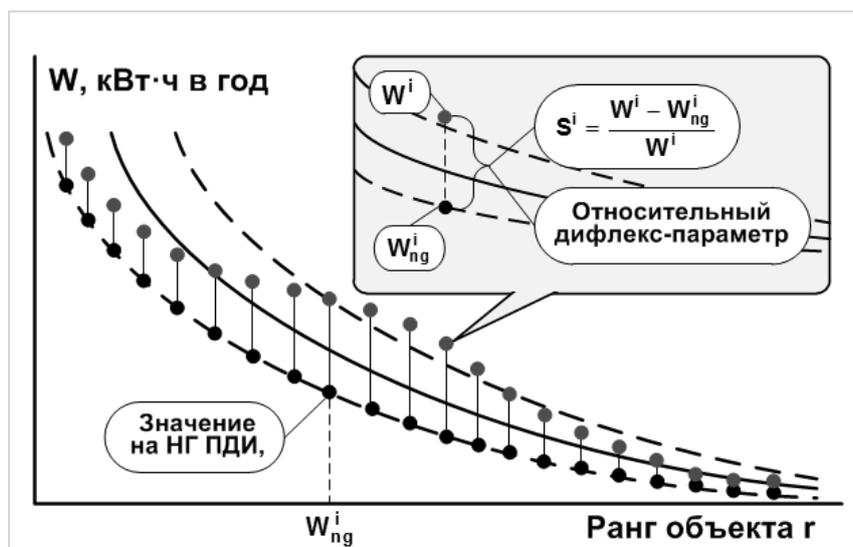


Рис. 7. Расчет ОДП для объектов РЭК

ОДП показывает, какую часть от электропотребления объекта составляет отклонение электропотребления от НГ ПДИ, и рассчитывается по следующему выражению:

$$S^i = \frac{W^i - W_{ng}^i}{W^i}, \quad (3)$$

где W_{ng}^i — отклонение i -го значения электропотребления объектов РЭК от НГ ПДИ;

W^i — фактическое значение электропотребления объектов РЭК выше НГ ПДИ.

Обоснование выбора относительного дифлекс-параметра для расчетов объясняется тем, что процедура снижения реализуется для выборки объектов, если бы она реализовалась только для одного объекта, то расчеты были бы точнее при использовании абсолютного дифлекс-параметра.

В результате проведенных расчетов по выражению (2) был получен вектор ранжированных значений электропотребления для объектов выше НГ ПДИ по ОДП (рис. 8).

$$S = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & 8.103 \cdot 10^{-4} & 3.357 \cdot 10^{-3} & 5.746 \cdot 10^{-3} & 6.679 \cdot 10^{-3} & \dots \\ \hline \end{array}$$

Рис. 8. Вектор ранжированных значений электропотребления по ОДП для объектов выше НГ ПДИ (фрагмент)

Важным этапом алгоритма снижения электропотребления объектов РЭК является расчет среднего прогнозных значений и норм (рис. 9).

Так как при проверке корреляционной связи между элементами S -матрицы было показано, что данные элементы связаны линейным соотношением, при котором изменение параметров одних элементов S -матрицы влечет изменение распределения параметров других, то соответственно измененные параметры S -матрицы принимают некоторые значения с определенными вероятностями.

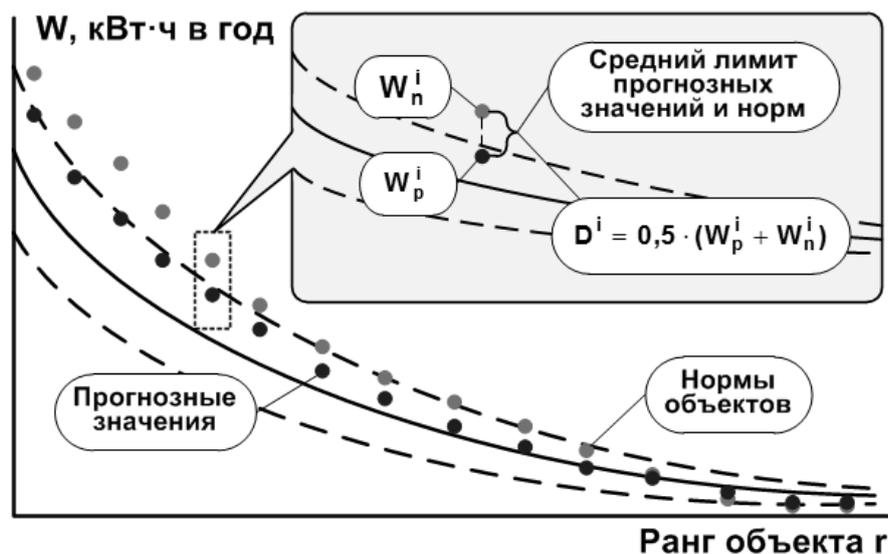


Рис. 9. Средняя величина прогнозных значений и норм

На основе данных утверждений выражение для расчета среднего прогнозных значений и норм можно записать в следующем виде [7]:

$$D^i = 0,5 \times (W_p^i + W_n^i), \quad (4)$$

где D^i – вектор среднего прогнозных значений и норм;
 W_p^i – вектор прогнозных значений выше НГ ПДИ;
 W_n^i – вектор значений норм выше НГ ПДИ.

На следующем этапе алгоритма для осуществления снижения электропотребления объектов РЭК реализуются операции управляющего воздействия.

Основным инструментом для снижения электропотребления является коэффициент управления. Необходимо отметить, что для расчета коэффициента управления впервые используются совместно параметры, рассчитанные на основе элементов S -матрицы. К ним относятся: вектор ранжированных значений электропотребления по ОДП для объектов выше НГ ПДИ и вектор среднего прогнозных значений и норм. Кроме того, при составлении формулы коэффициента управления указывается величина, на которую будет произведено снижение электропотребления (например – 3%).

Таким образом, аналитическое выражение для получения значений коэффициента управления снижением электропотребления можно записать в следующем виде:

Таким образом, аналитическое выражение для получения значений коэффициента управления снижением электропотребления можно записать в следующем виде:

$$\frac{V^T \times E - D^T (E - k \times S)}{V^T \times E} = 0,03, \quad (5)$$

где V – вектор фактического электропотребления объектов РЭК за последний год;
 D^T – вектор лимитов значений электропотребления выше НГ ПДИ;
 E – вектор единиц;
 k – коэффициент управления снижением электропотребления объектов РЭК;
 S – вектор отранжированных значений электропотребления по ОДП для объектов выше НГ ПДИ.

Упростив выражение (5) и используя простейшие математические операции, получим

$$V^T \times E - D^T \times (E - k \times S) = V^T \times E \times 0,03. \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что коэффициент управления снижением электропотребления в векторной форме будет определяться как

$$k = \frac{E \times (D^T - 0,97 \times V^T)}{D^T \times S}. \quad (7)$$

Следовательно, коэффициент управления снижением электропотребления – это отношение разности суммы среднего значения лимита электропотребления, рассчитанного по результатам процедур рангового анализа, и суммы фактического электропотребления техноценоза, умноженной на необходимый процент, к произведению среднего значения лимита электропотребления для объектов выше нижней границы ПДИ, умноженного на вектор ранжированных значений электропотребления по ОДП для объектов выше нижней границы ПДИ.

На заключительном этапе данного алгоритма производится формирование итоговой матрицы сниженных значений электропотребления техноценоза (рис. 10), которые возможно получить при реализации рассчитанного управляющего воздействия.

The diagram shows a matrix C^T with two rows and six columns. The first row contains values: 1, $2.947 \cdot 10^4$, $5.833 \cdot 10^3$, $5.213 \cdot 10^3$, $5.013 \cdot 10^3$, and $5.497 \cdot 10^3$. The second row contains values: 1, 2, 3, 4, and an ellipsis (...). A callout box labeled 'Сниженные значения электропотребления' points to the numerical values in the first row. Another callout box labeled 'Коды объектов' points to the numerical values in the second row.

	1	2				
1	$2.947 \cdot 10^4$	$5.833 \cdot 10^3$	$5.213 \cdot 10^3$	$5.013 \cdot 10^3$	$5.497 \cdot 10^3$	
2	1	2	3	4	...	

Рис.10. Итоговая матрица сниженных значений по электропотреблению и кодов объектов РЭК (фрагмент)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при реализации алгоритма снижения электропотребления объектов РЭК удалось получить следующие результаты:

- показать корреляционную связь между элементами C -матрицы, что позволило утверждать о связи данных элементов линейным соотношением, при котором изменение параметров одних элементов C -матрицы влечет изменение распределения параметров других элементов;

- обосновать выбор объектов для снижения электропотребления с помощью НГ ПДИ, которая является критерием качества как для прогнозных значений, так и для норм;

- впервые обосновать и применить коэффициент управления для снижения электропотребления объектов РЭК, используя для его расчета совместно параметры, рассчитанные на основе элементов C -матрицы;

- получить итоговую матрицу сниженных значений по электропотреблению и кодов для объектов РЭК.

Список используемых источников

1. *Васильев В.Н.* Управление электропотреблением муниципального образования на основе новых информационных технологий // Сборник материалов X юбилейной МНК «Инновации в науке и образовании». – Калининград: КГТУ, 2012. – С. 455–458.
2. *Гнатюк В.И., Луценко Д.В.* Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: Изд-во ИПП РАН, 2013. – 107 с.
3. *Гнатюк В.И., Луценко Д.В.* Прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса на инерционном этапе развития: монография. – М.: ИПП РАН, 2009. – 92 с.
4. Методика мониторинга электропотребления электротехнического комплекса Калининградской области / В.И. Гнатюк, Д.В. Луценко, О.Р. Кивчун, В.Н. Васильев // Промышленная энергетика. – 2015. – № 3. – С. 26–35.
5. Потенцирование в методике управления электропотреблением техноценоза / В.И. Гнатюк, Д.В. Луценко, О.Р. Кивчун, Л.В. Примак // Механизация строительства. – 2014. – № 8. – С. 19–27.
6. Ранговое параметрическое распределение техноценоза на бифуркационном этапе развития / В.И. Гнатюк, Д.В. Луценко, О.Р. Кивчун и др. // Механизация строительства. – 2014. – № 10. – С. 44–47.
7. Интеллектуальная система управления электропотреблением: заключительный отчет о НИР / испол.: О.Р. Кивчун, В.И. Гнатюк, А.А. Меркулов и др. [шифр «Энергия»]. – Калининград: БВМИ, 2011. – 350 с.– Рег. Номер ВНТИЦ 1608266. – Инв. № 8207.
8. *Кивчун О.Р.* База данных информационно-аналитического комплекса управления электропотреблением объектов Балтийского флота // Электрика. – 2011. – Вып. 3 – С.14–19.
9. *Кивчун О.Р., Меркулов А.А.* База данных ситуационного центра управления электропотреблением объектов Балтийского флота // Материалы XIII ежегодной межвузовской научно-практической конференции «Пути повышения уровня подготовки специалистов в высших учебных заведениях»: научно-методический сборник. – Калининград: БВМИ, 2010. – С. 205–211.
10. *Кивчун О.Р., Дорофеев С.А.* Электротехнический комплекс Калининградской области: состояние, проблемы, перспективы развития // Сборник XL Всероссийской научно-практической конференции «Фёдоровские чтения». – М.: МЭИ, 2010. – С. 158–161.
11. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. – М.: Наука, 1978. – 832 с.
12. Разработка техноценологических расчетов для всех видов ресурсов организационной структуры: итоговый отчет НИОКР / испол.: В.И. Гнатюк, О.Р. Кивчун и др. – М.: ВНТИЦ № 1940002470319, 2009. – Инв. № 9/Итог/6418.

К.В. Алексеев,
кандидат техн. наук;
Н.С. Демидова;
Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
А.В. Михайленко

ОЦЕНИВАНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТенок КАМЕР ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА ИХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрен вопрос необходимости контроля качества поверхности (перед пайкой, при проведении испытаний) стенок камер перспективных жидкостных ракетных двигателей. Проведен анализ основных оптико-электронных методов контроля качества поверхностей материалов, наиболее подходящих для осуществления данной операции. Представлен оптико-электронный метод контроля, основанный на оценке и анализе интенсивности света каждой точки поверхности цифрового изображения контролируемого элемента. Приведены экспериментальные зависимости параметров интенсивности светового сигнала точек испытуемых поверхностей (дисперсии интенсивности, суммарной и средней интенсивности) от классов шероховатости и степени окисления.

Ключевые слова: контроль качества, жидкостный ракетный двигатель, стенки камеры, интенсивность света, дисперсия интенсивности.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей своей истории отечественное двигателестроение использовало наиболее значимые достижения науки и было направлено на обеспечение наиболее оптимальных характеристик создаваемых двигателей для укрепления в первую очередь обороноспособности страны, исходя из условий расположения отечественных космодромов. В Федеральной космической программе России [1] на 2016–2025 годы определено содержание работ этой отрасли, в том числе в области ракетного двигателестроения. К числу наиболее сложных подсистем ракет-носителей (РН) относятся маршевые жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), обладающие уникальной удельной мощностью, что достигается высокими показателями по давлениям, температурам, термонапряженностям в камерах сгорания, скоростям вращения турбонасосных агрегатов отечественных ракетных двигателей. Работающие на пределе своих возможностей эти агрегаты и являются наиболее важными элементами ЖРД.

Семь из 11 мировых аварий РН, начиная с 2011 года, пришлось на Россию [2]. Нельзя не отметить, что большая часть аварий явилась результатом отказов ракетных двигателей (РД). В связи с этим наиболее значимым решением, влияющим на надежность и безопасность РН, является обеспечение безотказной работы агрегатов ЖРД, в особенности его камеры. Камера ЖРД – это его важнейший элемент, который работает в условиях высоких значений температуры (более 3000 К) и давления (до 25 МПа), тем самым делая проблему обеспечения прочности и надежности камеры актуальной.

К одной из основных задач контроля качества ЖРД относится задача контроля паяных соединений сопел камер, решения которой отражены в работах [3, 4]. Вместе с тем нерешенной остается проблема контроля качества поверхностей стенок камер ЖРД (в том числе до спайки внутренней стенки с внешней), которой на сегодняшний день уделено недостаточно внимания при проведении операций контроля качества элементов изделий. К тому же хорошее надежное соединение пайкой можно получить лишь при обеспечении требуемой чистоты спаиваемых поверхностей оболочек камеры. Основными причинами неспаев внутренней и

внешней стенок камеры наряду с другими являются плохая очистка деталей (загрязнение поверхностей, окислы, жир), недостаточный уровень шероховатости спаиваемых поверхностей. Еще большую актуальность указанная проблема приобретает, например, при создании перспективных ЖРД для разгонных блоков верхних ступеней РН [5, 6], в которых, несмотря на небольшую массу, высокие энергетические показатели достигаются за счет охлаждения криогенным кислородом (окислителем) без использования внутреннего завесного охлаждения камеры сгорания горючим (керосином). К таким ЖРД можно отнести разрабатываемый РКК «Энергия» многофункциональный 11Д58МФ для разгонного блока типа ДМ, по своим энергетическим параметрам превосходящий используемый в настоящее время ЖРД 11Д58М. Создание таких ЖРД позволит осуществить выведение КА с опорной орбиты на геостационарную орбиту и к планетам Солнечной системы.

Известно, что криогенный кислород является сильным окислителем и взаимодействие его с различными веществами резко увеличивает их способность к горению (частицы пыли, ржавчина, следы окисления и т.д.), а в некоторых случаях – к взрыву (смазочные материалы). Поэтому при взаимодействии с криогенным кислородом поверхности стенок камеры ЖРД должны обладать высоким качеством (требуемая шероховатость, отсутствие окислов, жиров, пыли и т.д.) для эффективного охлаждения, а также для обеспечения равномерного качественного процесса горения компонентов ракетного топлива.

Таким образом, контроль качества поверхностей стенок камер перспективных ЖРД является актуальнейшей задачей в обеспечении требуемой надежности самих ЖРД и РН в целом.

АНАЛИЗ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

Повышение надежности перспективных ЖРД неразрывно связано с контролем качества их элементов на этапах жизненного цикла во время изготовления и испытаний. В настоящий момент контроль качества поверхности оболочек камер ЖРД осуществляется на основе результатов огневых испытаний [7]. Однако даже положительные результаты испытаний не являются источником достоверной информации. Это связано с тем, что дефекты, размеры которых до испытаний были незначительными и никак не проявили себя в ходе испытаний, на самом же деле могли развиться до критических размеров, что приводит к разрушению двигателя в процессе эксплуатации. В связи с этим для получения достоверной информации о качестве указанной поверхности необходимо выполнение основных этапов, включающих предварительную обработку изображения поверхности, поиск дефектных областей на изображении, расчет классификационных признаков по найденным областям, классификацию дефектов [8].

Важными тенденциями развития методов и средств контроля качества поверхностей являются стремление к автоматизации и надежности процессов измерения, повышение оперативности получения измерительной информации. Такими прогрессивными методами контроля качества являются бесконтактные оптические методы измерений.

Оптические методы контроля относятся к неразрушающим методам [9] и основаны на использовании физических явлений света, проявляющихся в результате его взаимодействия с контролируемым объектом при получении информации о состоянии объекта и его параметрах [10]. Наиболее подходящими для решения задачи контроля качества поверхности внутренних стенок камер ЖРД современными методами являются:

1. *Рефлектометрический метод*, при использовании которого пучок от источника коллимированного излучения направляется на исследуемую поверхность под углом α (рис. 1). Отраженные от этой поверхности лучи с помощью линзы 1 направляются в диафрагму 3, служащую для отсеивания рассеянного излучения, и через фокусирующую линзу 2 фиксируются на фотоприемник 5. Преимуществом данной схемы являются очевидные простота и доступность комплектующих.

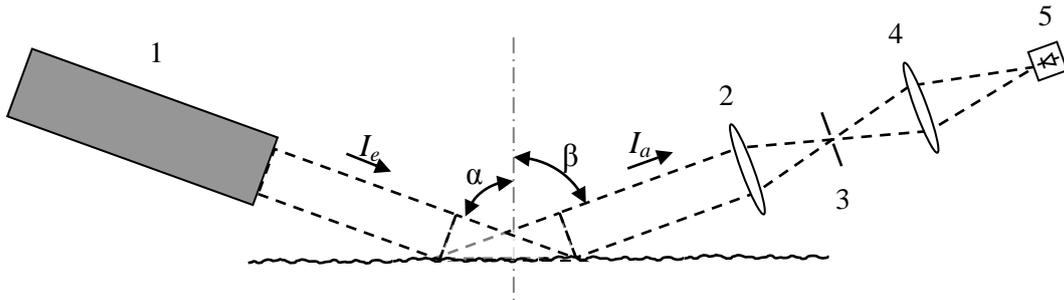


Рис. 1. Схема рефлектометрического метода контроля поверхности:
1 – источник направленного излучения (лазер); 2 – линза 1; 3 – диафрагма; 4 – линза 2;
5 – фотоприемник

2. *Метод темного поля*, при использовании которого исследуемый образец подвергается освещению «сбоку». При таком освещении дефекты, имеющиеся в образце, рассеивают падающий свет, и с помощью камеры изображение образца наблюдают в рассеянном свете, а «освещающий» световой пучок не попадает в объектив (рис. 2). Данный метод может быть легко совмещен с другими методами контроля шероховатости, например рефлектометрическим.

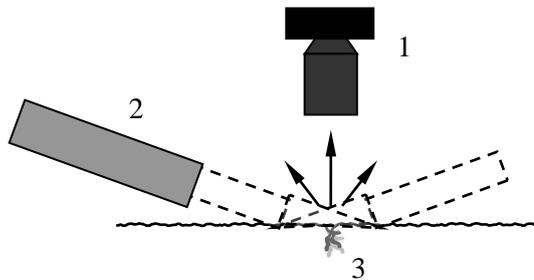


Рис. 2. Схема установки контроля методом темного поля:
1 – камера с объективом; 2 – источник излучения; 3 – дефект

3. *Метод цифровой голографии*. При нормальном освещении дефекта (рис. 3) когерентным излучением свет дифрагирует (рассеивается) на неоднородностях его структуры. Дифракция происходит в каждой точке дефекта, а общая дифракционная картина является их суперпозицией (рис. 3).

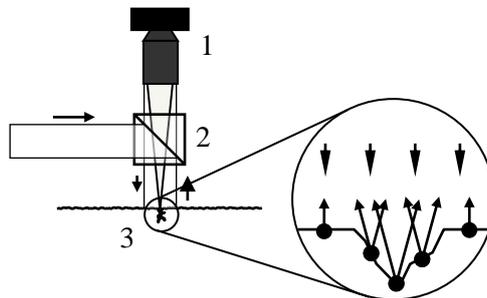


Рис. 3. Схема установки контроля методом цифровой голографии:
1 – камера с объективом; 2 – светоделитель; 3 – дефект

В результате интерференции дифрагированного света с излучением, прошедшим мимо него и не претерпевшим дифракцию, образуется картина, фактически являющаяся голограммой дефекта. Такое изображение несет в себе всю информацию о распределении фазы и амплитуды светового поля, рассеянного дефектом.

Тем не менее описанные оптико-электронные методы контроля качества поверхности не могут быть в полной мере применены для контроля поверхностей стенок камер ЖРД, так как обладают высокими требованиями по виброустойчивости, имеют относительно малую площадь исследуемого участка поверхности и могут быть в полной мере использованы в основном в лабораторных условиях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССОВ ШЕРОХОВАТОСТИ И СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА ИХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Динамика развития компьютерных технологий, повышение качества и относительно невысокая стоимость цифровых видеокамер дали возможность применения метода контроля качества поверхности описываемых элементов ЖРД, основанного на оценке яркости (сигнала) каждой точки (пиксела) цифрового изображения поверхности контролируемого элемента. Каждая точка (пиксел) дискретного компьютерного (цифрового) изображения обладает определенной яркостью в зависимости от интенсивности света, отраженного от соответствующего участка образца, попавшего в объектив камеры [11]. Цифровые фотоизображения объектов могут быть подвержены обработке аппаратным способом, что позволяет полностью преобразовать процесс контроля в программный, это значительно уменьшает время проведения операции контроля.

В ходе проведения экспериментальных исследований по оценке и анализу интенсивности светового сигнала точек поверхности была разработана программа для ЭВМ [12], реализованная на языке программирования MS Visual C++ с использованием платформы Net 3.5.

При проведении экспериментальных исследований необходимо было решить следующие задачи:

- подбор и подготовку образцов для экспериментальных исследований (образцов шероховатости от 6-го до 13-го класса и образцов для окисления);
- искусственное окисление подготовленных для этого образцов (пять уровней окисления);
- подготовку необходимого оборудования для проведения эксперимента;
- фиксацию (фотографирование) поверхностей подготовленных испытуемых образцов;
- обработку полученных данных.

Для фиксации поверхностей экспериментальных образцов использовалась микроскоп-камера МК-13 разрешением 1,3 Мрх1. С использованием программы [12] проводился анализ интенсивности светового сигнала в цифровых изображениях поверхностей образцов шероховатости (рис. 4) [13] и степени окисления образцов из жаростойкой стали 12Х18Н10Т (рис. 5), используемой при изготовлении стенок камер [14].

Компьютерное (цифровое) изображение испытуемой поверхности, получаемое в результате фотосъемки, представляет собой функцию двух переменных [11]:

$$I_0 = f(\xi, \eta), \quad (1)$$

где ξ и η – координаты точки в двумерной системе координат исходного изображения;

I_0 – интенсивность светового сигнала, пропорциональная яркости точки (пикселя).

Так как использовалось компьютерное изображение поверхности образца, то интенсивность светового сигнала каждой точки (пикселя) изображения принимала целое значение от 0 до 255 [15]. Программа вычисляла суммарную интенсивность всех точек (пикселей) изображения, среднюю интенсивность, т.е. суммарную интенсивность, отнесенную к площади изображения, и дисперсию интенсивности для изображения разрешением (в описанном случае) 256 на 256 точек при освещении образцов галогеновой лампой и монохроматическим излучением (полупроводниковым лазером).

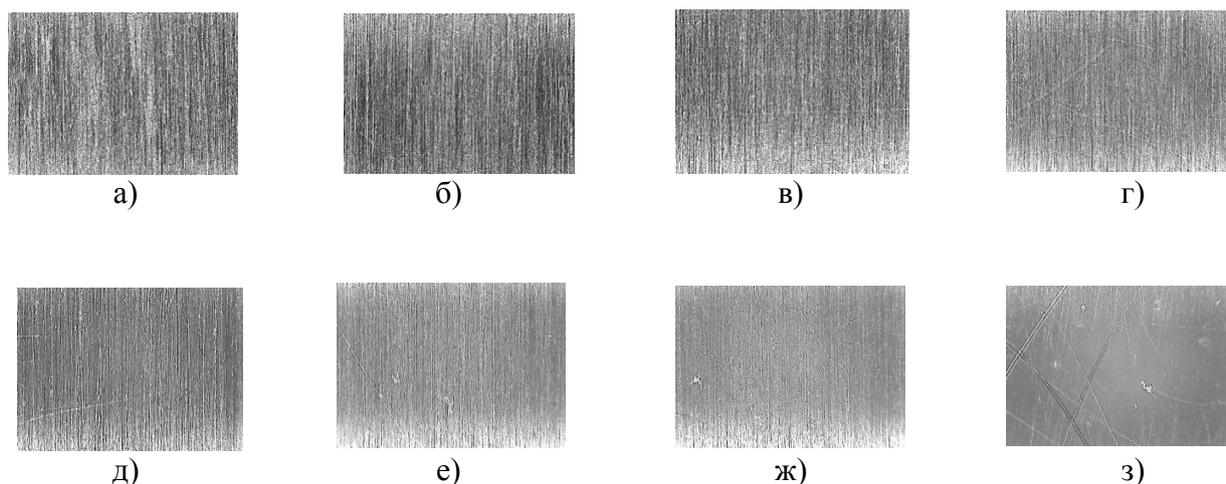


Рис. 4. Фотографии поверхностей образцов шероховатости:
 а – 6-й класс; б – 7-й класс; в – 8-й класс; г – 9-й класс; д – 10-й класс; е – 11-й класс;
 ж – 12-й класс; з – 13-й класс

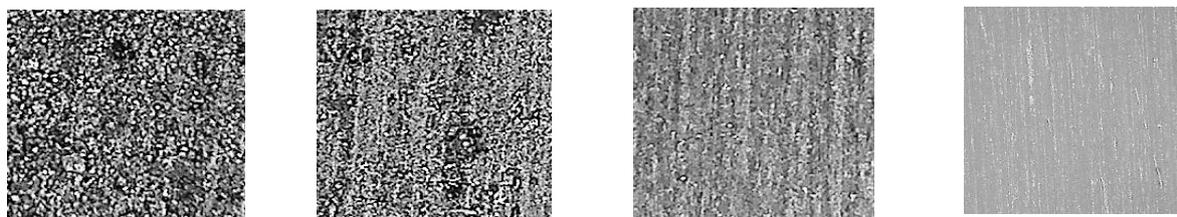


Рис. 5. Фотографии поверхностей окисленных образцов:
 слева – сильно окисленный; справа – чистый

Дисперсия интенсивностей (яркостей) точек (пикселей) цифрового изображения поверхности D_I вычислялась по формуле

$$D_I = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{x})^2, \quad (2)$$

где n – размер массива;

p_i – средняя интенсивность (яркость) точки;

\bar{x} – среднее арифметическое яркости (по высоте и по ширине).

Анализ полученных параметров интенсивности цифровых изображений образцов шероховатости показывает, что при повышении класса шероховатости снижается дисперсия интенсивности, а суммарная и средняя интенсивности светового сигнала увеличиваются. Полученные экспериментальные зависимости параметров интенсивности представлены на рис. 6.

Тем не менее при освещении образцов шероховатости монохроматическим излучением с повышением класса шероховатости все перечисленные исследуемые параметры интенсивности понижаются (рис. 7). Это объясняется отсутствием во втором случае цветовой модели RGB (трех цветовых компонент для каждого пиксела изображения – красного, синего, зеленого), которая получается путем добавления цветов к двухцветной (монохромной) модели, что в значительной степени упрощает расчет и уменьшает степень разброса значений интенсивности.

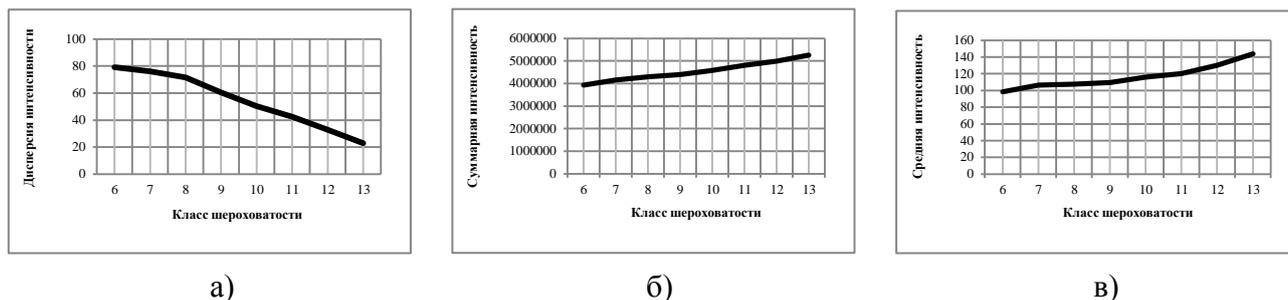


Рис. 6. Зависимости параметров интенсивности освещенности от классов шероховатости при освещении галогеновой лампой: а – дисперсии интенсивности; б – суммарной интенсивности; в – средней интенсивности

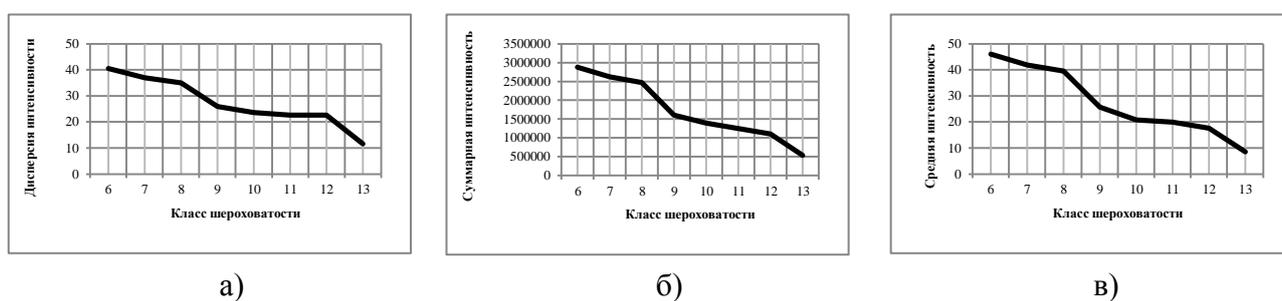


Рис. 7. Зависимости параметров интенсивности освещенности от классов шероховатости при освещении монохроматическим излучением: а – дисперсии интенсивности; б – суммарной интенсивности; в – средней интенсивности

Выявленные зависимости позволяют, используя цифровое изображение поверхности, определять уровень ее шероховатости.

Трехмерные изображения распределения интенсивности в цифровых изображениях образцов нескольких классов шероховатости представлены на рис. 8.

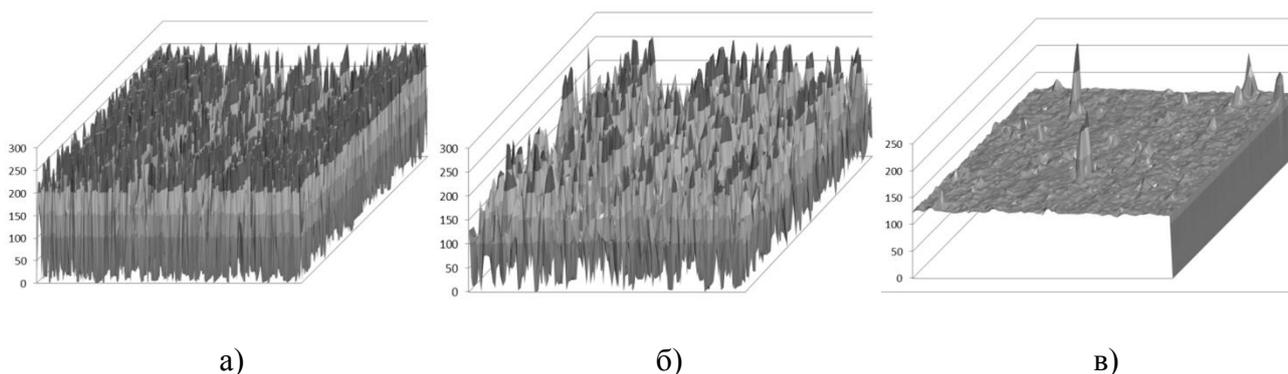


Рис. 8. Трехмерные изображения распределения интенсивности в цифровых изображениях образцов нескольких классов шероховатости: а – 6-й класс; б – 9-й класс; в – 13-й класс

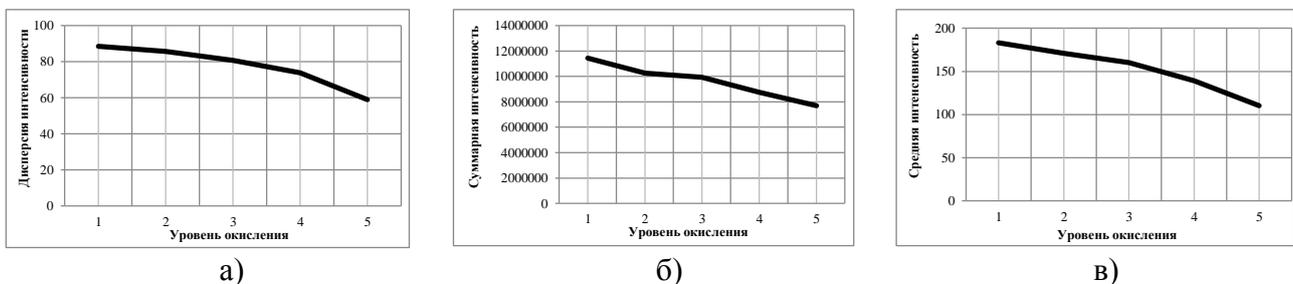
Полученные при различном освещении образцов шероховатости результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты измерения параметров интенсивности
цифровых изображений образцов шероховатости**

№ п/п	Класс шероховатости	Параметры интенсивности света цифровых изображений		
		Дисперсия интенсивности	Суммарная интенсивность	Средняя интенсивность
Галогеновые лампы				
1.	6-й класс	79,206	3930705	98,26
2.	7-й класс	76,114	4262807	106,57
3.	8-й класс	71,581	4299749	107,49
4.	9-й класс	60,542	4378901	109,47
5.	10-й класс	50,309	4577398	115,98
6.	11-й класс	42,57	4813353	120,33
7.	12-й класс	32,845	4996511	124,91
8.	13-й класс	22,832	5259352	143,98
Монохроматическое освещение				
9.	6-й класс	40,58	2876468	46,02
10.	7-й класс	36,96	2620572	41,92
11.	8-й класс	34,95	2473377	39,57
12.	9-й класс	25,92	1605257	25,68
13.	10-й класс	23,65	1396941	20,75
14.	11-й класс	22,60	1244460	19,91
15.	12-й класс	22,58	1103652	17,65
16.	13-й класс	11,62	533093	8,52

Кроме того, таким же образом с использованием описанного оптико-электронного способа (с помощью программы) исследовались поверхности образцов с различной степенью окисления (коррозии). В результате проведенного эксперимента были получены зависимости параметров интенсивности от уровня окисления поверхности при освещении монохроматическим излучением и галогеновыми лампами. Полученные зависимости представлены на рис. 9 и 10.



*Рис. 9. Зависимости параметров интенсивности освещенности
от уровня окисления (коррозии) при освещении монохроматическим излучением:
а – дисперсии интенсивности; б – суммарной интенсивности; в – средней интенсивности*

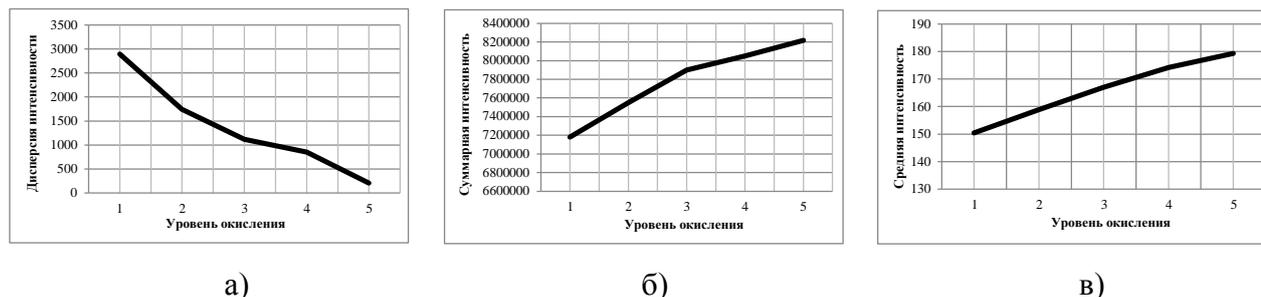


Рис. 10. Зависимости параметров интенсивности освещенности от уровня окисления (коррозии) при освещении галогеновыми лампами: а – дисперсии интенсивности; б – суммарной интенсивности; в – средней интенсивности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, зная зависимости параметров интенсивности светового сигнала на испытуемой поверхности от уровня окисления, а также уровня шероховатости, можно делать выводы о наличии и уровне окисления этой поверхности, а также об уровне шероховатости описанных элементов ЖРД. Приведенные данные свидетельствуют о том, что контроль качества изделий ракетно-космической техники можно осуществлять более простым (с точки зрения реализации) методом оценки и анализа интенсивности (яркости) светового сигнала каждой точки цифрового изображения контролируемой поверхности, который позволяет в автоматическом режиме и с высокой скоростью, без проведения съемки с разных ракурсов и разрушения объекта исследования выявлять наличие дефектов, оценивать качество поверхности стенок камер ЖРД как перед пайкой внутренней (огневой) стенки с внешней, так и на этапах испытаний.

Список используемых источников

1. Федеральная космическая программа России на 2016–2025 годы. – URL: <https://www.roscosmos.ru/223347/> (дата обращения: 28.08.2017).
2. Отказы ракетно-космической техники. – URL: http://ecoruspace.me/orbital_failures.html (дата обращения: 10.09.2017).
3. Кинжагулов И.Ю. Лазерно-ультразвуковой метод и средство дефектоскопии паяных соединений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 / Кинжагулов Игорь Юрьевич. – СПб., 2013. – 20 с.
4. Сергеев Д.С. Разработка автоматизированного лазерно-ультразвукового метода измерения геометрических характеристик дефектов паяных соединений сопел камер жидкостных ракетных двигателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 / Сергеев Дмитрий Сергеевич. – СПб., 2016. – 19 с.
5. Луняк Д.С., Лакеев В.Н. Исследования по созданию разгонного блока с повышенными энергомассовыми характеристиками // Вестник ФГУП НПО им. С.А. Лавочкина. – 2011. – № 5. – С. 26–29.
6. Аверин И.Н., Егоров А.М., Тупицын Н.Н. Особенности построения, экспериментальной отработки и эксплуатации двигательной установки разгонного блока ДМ-SL комплекса «Морской старт» и пути ее дальнейшего совершенствования // Космическая техника и технологии. – 2014. – № 2(5). – С. 62–73.

7. Результаты огневых испытаний экспериментальных камер сгорания ЖРД с кислородным охлаждением / Р.Э. Катков, И.Г. Ложино-Ложинская, С.В. Мосолов и др. // Известия РАН. Энергетика. – 2013. – № 1. – С. 34–43.

8. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1977. – 222 с.

9. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 12 с.

10. ГОСТ 23479-79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 13 с.

11. Кофнов О.В. Модель и алгоритмы обработки цифровых изображений для оценивания геометрических параметров материалов с периодической структурой : дис. канд. тех. наук: 05.13.01 / Кофнов Олег Владимирович. – СПб., 2016. – 175 с.

12. Заяв. №2016661458. Программа обработки данных цифровых изображений / А.В. Михайленко, Е.Л. Лебедев, О.В. Кофнов. – Заявл. от 26.10.2016; зарег. 07.02.2017. – Св-во №2017611188.

13. ГОСТ 9378-93. Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. – 12 с.

14. Воробей В.В., Логинов В.Е. Технология производства жидкостных ракетных двигателей: учебник. – М. : Изд-во МАИ, 2001. – 496 с.

15. Ежова К.В. Моделирование и обработка изображений: учеб. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 93 с.

К.В. Алексеев,
кандидат техн. наук;
Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
Д.П. Мохнаткин;
С.А. Смуров

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ПОТЕРИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОЭРЦИТИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В статье рассмотрены закономерности изменения коэрцитивной силы на одинаковых образцах, изготовленных из стали 15ХСНД, с разной степенью пластической деформации, т.е. с наведенной магнитной анизотропией, при их испытаниях на растяжение в условиях идентичного нагружения. Представлена методика оценивания потери несущей способности металлоконструкций по результатам коэрцитиметрического контроля.

Ключевые слова: магнитный метод неразрушающего контроля, механические напряжения, коэрцитивная сила, несущая способность.

Модернизация средств выведения полезной нагрузки в космическое пространство влечет за собой и изменение схем нагружения металлоконструкций (МК) стартового оборудования (СО) стартовых комплексов. Происходит это за счет увеличения как статических нагрузок, связанных с размещением дополнительного оборудования на агрегатах СО, так и динамического воздействия от газовой струи ракеты-носителя. Увеличение степени воздействия на МК СО требует постоянного контроля их технического состояния, т.е. возможного уменьшения несущей способности [1].

Под потерей несущей способности понимается наличие в контролируемом сечении МК СО локальных областей, в которых напряжения превосходят предельное значение – предел упругости (в которых имеется пластическая деформация).

Потеря несущей способности МК СО связана в основном с долей пластической деформации в ее критическом сечении. Причинами возникновения пластической деформации в МК являются нештатные режимы нагружения. Малая доля пластически деформированного металла в критическом сечении конструкции не контролируется методами визуально-измерительного контроля, однако вносит существенный вклад в перераспределение остаточных напряжений в конструкционном металле. Именно остаточные напряжения, возникающие в различных частях материала элемента конструкции, оказывают большое влияние на конструкционную прочность (особенно на процессы хрупкого разрушения) реальных изделий.

При наличии в сварных конструкциях растягивающих остаточных напряжений известны случаи их разрушения при отсутствии внешнего нагружения [2]. Разрушение при этом обусловлено распространением трещин под влиянием остаточных напряжений. Чрезвычайно важную роль остаточные напряжения играют также в развитии коррозионных процессов, коррозионной усталости и образовании коррозионных трещин.

Состояние МК СО может изменяться после каждого пуска. Это обстоятельство может способствовать росту повреждаемости материала, повышению вероятности отказа и аварийных ситуаций. Существенные ограничения при эксплуатации СО не позволяют оценить степень нагружения МК непосредственно в момент пуска. В статье описана методика определения напряженно-деформированного состояния и оценивания потери несущей способности МК СО по результатам коэрцитиметрического метода неразрушающего контроля после пуска.

Принцип действия коэрцитиметра состоит в намагничивании контролируемого участка детали до технического насыщения накладным преобразователем, размагничивая его ступенчато-нарастающим полем, фиксации напряженности поля, соответствующего коэрцитивной силе материала детали по значению тока размагничивания и измерению амплитуды сигнала датчика Холла. Предназначен коэрцитиметр для неразрушающего контроля структуры материала, качества термической, термомеханической или химико-термической обработки, а также для определения глубины и твердости поверхностно-упрочненных слоев деталей из ферромагнитных материалов, поэтому необратимые изменения значений коэрцитивной силы после пластической деформации стали тоже регистрируются прибором.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования служила низколегированная строительная горячекатаная сталь 15ХСНД, используемая в качестве конструкционного материала при изготовлении элементов МК СО. Плоские образцы для исследований были вырезаны из прокатного листа толщиной 8 мм. Рабочая часть образцов сечением 5×60 мм имела длину 200 мм. Дополнительную термическую обработку образцов не проводили.

Исследования проводили в два этапа. На первом этапе образцы подвергали одноосному растяжению на машине для испытаний ИР-5113-100 до значений пластической деформации, равной 0,3% (образец 1); 3,00% (образец 2) и 6,00% (образец 3). Один образец испытывали только в упругой области без предварительной пластической деформации. Диаграммы нагружения с разгрузением для каждого образца представлены на рис. 1. Для удобства сравнения с результатами других исследований вне зависимости от типа нагружения диаграммы приведены в координатах «напряжение – деформация».

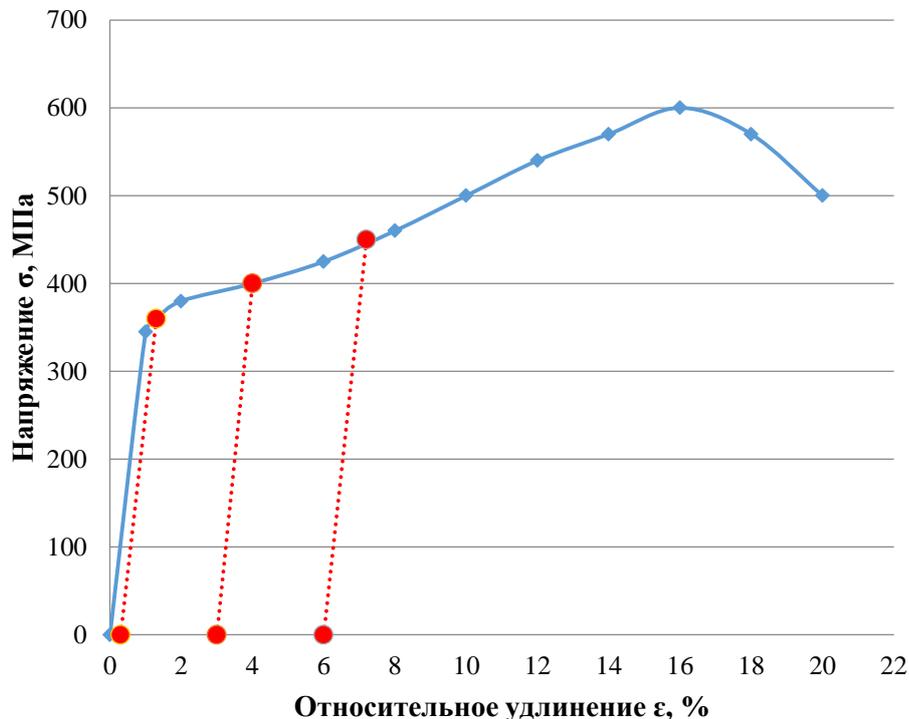


Рис. 1. Диаграмма растяжения стали 15ХСНД

В процессе нагружения и разгрузки образцов проводили измерения магнитных характеристик, для чего процесс нагружения приостанавливали. Перед проведением каждого измерения и после него образец размагничивали и продолжали нагружение до следующей точки измерений. По окончании первого этапа образцы разгружали.

На втором этапе исследований проводили упругое растяжение предварительно пластически деформированных образцов, полученных на первом этапе, с измерением коэрцитивной силы при использовании накладных преобразователей в полузамкнутой магнитной цепи.

При измерениях в полузамкнутой магнитной цепи использовали коэрцитиметр КИМ-2М с первичным преобразователем в виде П-образного приставного электромагнита (ПМУ) с сечением полюсов 15×5 мм и расстоянием между полюсами 15 мм. Измерения с применением ПМУ проводили как вдоль, так и поперек оси нагружения.

На каждом этапе нагружения осуществляли серию из пяти измерений с переустановкой датчика, после чего полученные результаты усредняли. Максимальное отклонение измеренных величин от средних значений не превышало 5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

На рис. 2 представлены зависимости коэрцитивной силы от величины растягивающих напряжений, полученные на стадии пластической деформации образцов до определенного уровня и при последующей разгрузке. В диапазоне приложенных растягивающих напряжений от 0 до 450 МПа характер поведения значений коэрцитивной силы всех испытанных образцов одинаков и соответствует приведенным в литературе данным [4–8]: с увеличением растягивающих напряжений коэрцитивная сила H_c изменяется неоднозначно, с образованием экстремумов.

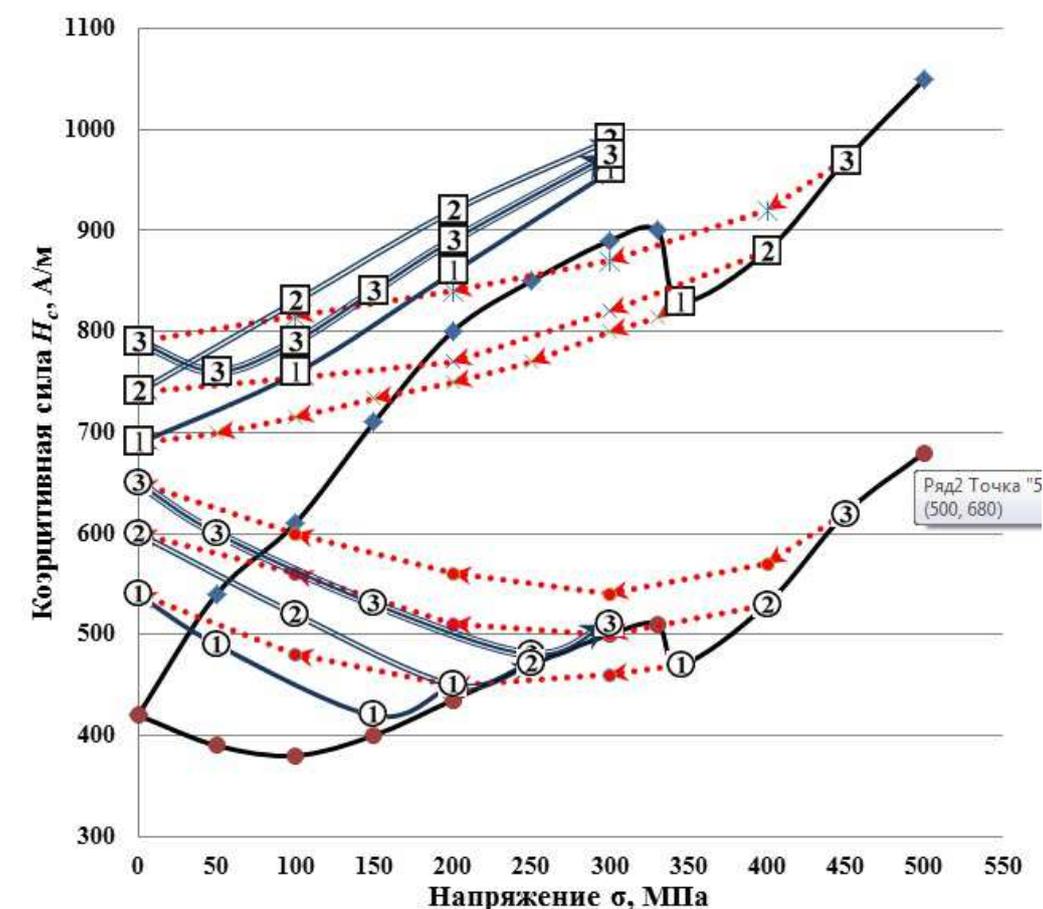


Рис. 2. Зависимости значений коэрцитивных сил, измеренных в полузамкнутой магнитной цепи при расположении приставных датчиков вдоль $H_c(0^\circ)$ — (●) и поперек $H_c(90^\circ)$ — (◆) оси нагружения, от внешних напряжений. Величины пластической деформации: 1 — 0,3%; 2 — 3%; 3 — 6%

Анализируя рис. 2, можно сделать вывод, что в диапазоне приложенных напряжений 50–150 МПа зависимости $H_c(0^\circ)$ имеют минимум. Такое поведение магнитных характеристик при упругом нагружении является классическим для магнетиков на основе железа, магнетострикция которых характеризуется константами разного знака, т.е. $\lambda_{100} > 0$ и $\lambda_{111} < 0$ [9], и в зависимости от структурного состояния материала и приложенных напряжений может быть как положительной, так и отрицательной.

При увеличении приложенных растягивающих напряжений (выше предела текучести, $\sigma_{0,2} \sim 350$ МПа) происходит рост значений коэрцитивной силы. Такое поведение коэрцитивной силы связано с образованием дефектов кристаллического строения, в частности дислокаций, плотность которых увеличивается с ростом степени упругопластической деформации образцов ($H_c \sim \sqrt{N}$, где N – плотность дислокаций) [10].

Как видно из рис. 2, кривые $H_c(0^\circ)$ в процессе разгрузки «идут» выше, чем при нагружении. То есть при разгрузке образцов после их пластической деформации наблюдаются необратимые изменения магнитных характеристик: чем больше величина пластической деформации, тем существенней эти необратимые изменения при разгрузке. Увеличение значений коэрцитивной силы в разгруженном состоянии по сравнению с нагруженным состоянием можно объяснить следующим образом. В процессе разгрузки в существенной части зерен вдоль направления растяжения возникают значительные остаточные сжимающие упругие напряжения. При этом возникают предпосылки для формирования магнитной текстуры типа «плоскость легкого намагничивания», при которой векторам спонтанной намагниченности энергетически выгоднее выстроиться в плоскости, перпендикулярной оси растяжения и, соответственно, намагничивающему и перемагничивающему полю. Вследствие этого процессы перемагничивания затрудняются, что и приводит к росту значений коэрцитивной силы. Эти результаты согласуются с результатами, полученными авторами [11], которые на стальных образцах также наблюдали существенные различия величин коэрцитивной силы в нагруженном и разгруженном состояниях при их пластическом растяжении.

Коэрцитивная сила, измеренная вдоль действия усилий, при увеличении значений растягивающих напряжений изменяется немонотонно – с образованием экстремумов. Рассмотрев рис.2, можно понять, что с ростом значений предварительной пластической деформации образцов наблюдаемые экстремумы смещаются в область больших напряжений. Величины напряжений, при которых наблюдаются минимумы значений коэрцитивной силы, связаны с моментом частичной компенсации внешними упругими растягивающими напряжениями части остаточных сжимающих внутренних напряжений [12]. При приложении внешней растягивающей нагрузки в местах, где были остаточные сжимающие напряжения, происходит снижение величины напряжений по модулю, а там, где имелись растягивающие напряжения, их величина продолжает расти. В момент, когда в большей части объема со сжимающими напряжениями произойдет снижение величины напряжений до нуля, будет наблюдаться минимум коэрцитивной силы, поскольку в данном состоянии градиенты напряжений станут минимальны. При дальнейшем увеличении внешней растягивающей нагрузки во всех областях материала увеличиваются растягивающие напряжения, что сопровождается ростом коэрцитивной силы. Очевидно, что чем больше величина предварительной пластической деформации, тем выше уровень остаточных сжимающих внутренних напряжений, а значит, больше величина напряжений, при которых наблюдается минимум коэрцитивной силы, и шире диапазон приложенных упругих напряжений, в котором магнитные характеристики изменяются монотонно.

Зависимости, полученные в процессе последующего разгрузки (после растяжения), совпадают с аналогичными зависимостями при нагружении, что свидетельствует об обратимости процессов перемагничивания в упругой области как при нагружении, так и при разгрузке.

Характер изменения значений коэрцитивной силы, полученных с помощью приставного датчика в поперечном направлении, с ростом растягивающих напряжений для образцов, под-

вергнутых предварительно различной степени пластической деформации, не одинаков: значения коэрцитивной силы образцов с величинами пластической деформации 0,3 (1) и 3% (2) монотонно увеличиваются с ростом упругой деформации, в то время как $H_c(90^\circ)$, соответствующие образцу с $\delta = 6\%$ (3), изменяется неоднозначно с формированием минимума. Такие особенности поведения зависимостей $H_c(\sigma)$ обусловлены следующим: после предварительной пластической деформации одноосным растяжением в образце в направлении оси растяжения возникают остаточные напряжения сжатия, а значит, в перпендикулярных направлениях – остаточные напряжения растяжения, поэтому чем выше величина предварительной пластической деформации, тем больше по абсолютной величине остаточные напряжения. При последующем растяжении такого образца в том направлении, в каком образец был предварительно растянут, на него при измерениях в поперечном направлении будут оказывать суммарное действие внешние сжимающие напряжения и остаточные растягивающие напряжения. В случае, когда уровень остаточных растягивающих напряжений относительно низкий, внешние сжимающие напряжения приводят к монотонному увеличению значений коэрцитивной силы, а в случае соизмеримости уровня остаточных напряжений с внешними приложенными – к образованию минимума, который формируется в момент компенсации внутренних напряжений внешними. Из вышесказанного следует: чем выше уровень предварительной пластической деформации, тем больше смещение в сторону больших приложенных растягивающих упругих напряжений положения минимума на зависимостях $H_c(\sigma)$, полученных при измерениях в перпендикулярном оси нагружения направлении.

Таким образом, были получены экспериментальные зависимости коэрцитивной силы от действующих механических напряжений с учетом наличия в исследуемых образцах остаточных напряжений от предварительных пластических деформаций. Данные зависимости, зная действующую нагрузку в МК СО, позволяют определить наличие остаточных напряжений, возникших при ее предварительных нагружениях.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТЕРИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

В основу методики магнитной диагностики МК положены необратимые изменения значений коэрцитивной силы после пластической деформации стали (рис.3).

Из анализа рис. 2 следует, что в диапазоне эксплуатационных (упругих) напряжений примерно до 300 МПа для конструкций из стали 15ХСНД значения H_c , измеренные в разных направлениях, на образцах, подвергнутых разной степени пластической деформации, изменяются монотонно, что дает возможность использовать их для контроля степени предварительной пластической деформации, а значит, и для контроля потери несущей способности.

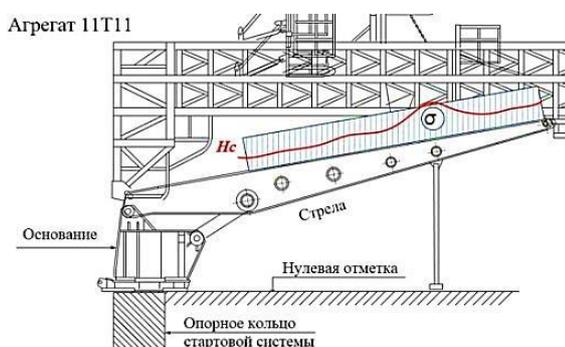


Рис. 3. Схема контроля равнонагруженной части стрелы агрегата 11Т11 коэрцитиметрическим методом, где σ – эпюра напряжений, H_c – значения коэрцитивной силы, измеренной в верхней части стрелы

Несущая способность определяется возможностью МК к сопротивлению внешним нагрузкам, а при наличии в критическом сечении металла с определенной долей пластической деформации он исключается из работы по сопротивлению нагрузкам в упругой зоне нагружения конструкции. И именно это будет служить причиной распространения пластической деформации в металле, в том числе и при эксплуатационных (штатных) нагрузках.

На рис. 3 показана схема контроля НДС МК на примере стрелы агрегата 11Т11. Методика включает в себя следующую последовательность операций:

1) произвести проверки направления главных действующих напряжений путем построения круговых диаграмм [13];

2) выполнить многократные измерения коэрцитивной силы на равнонагруженном участке МК с напряжениями одного знака, в данном случае – в зоне растяжения. Получаем вариационный ряд значений коэрцитивной силы, измеренной поперек действия главных напряжений $\langle H_C^\perp \rangle$ и вдоль – $\langle H_C^\parallel \rangle$.

Значения H_{Ci} будут варьироваться за счет погрешности прибора, которая может принимать одинаковые значения, но разные по знаку, и за счет неоднородной подготовки поверхности, т.е. они будут подчиняться нормальному закону распределения (на рис. 4 кривая 1).

В случае, если в вариационный ряд попадут значения предварительно пластически деформированных зон металла, распределение $\langle H_C \rangle$ перестает подчиняться нормальному закону распределения и степень отклонения полученного закона от нормального и будет свидетельствовать о степени предварительной пластической деформации объекта контроля. Графически вероятность значений H_{Ci} , измеренных в зоне пластически деформированного металла ($H_C^{ПД}$), отображается заштрихованной частью D под кривой распределения 3.

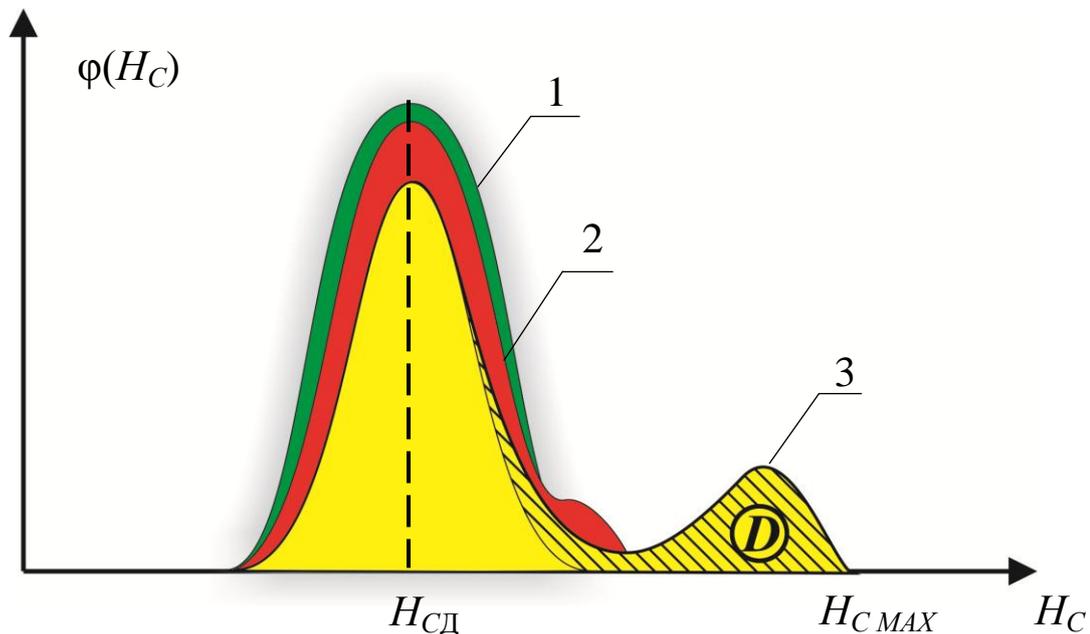


Рис. 4. Примеры кривых плотности распределения результатов измерения: 1 – пластически недеформированных МК; 2, 3 – с разной степенью пластически деформированных МК

Математически это описывается следующей формулой:

$$D = \begin{cases} \int \varphi_{ПД}(H_C) dH_C \\ H_C \in \langle H_C^{ПД} \rangle \end{cases} \quad (1)$$

В формуле (1) введены следующие обозначения: $\varphi_{\text{ПД}}(H_C)$ – плотность распределения значений H_C предварительно пластически деформированного металла, $\langle H_C^{\text{ПД}} \rangle$ – выборка значений H_C в зоне предварительно пластически деформированного металла.

Получить данные для формулы (1) не представляется возможным, в том числе и по возможному пересечению значений H_C для пластически деформированных участков металла и участков, работающих в упругой зоне. Предлагается следующий способ оценки доли предварительно пластически деформированной зоны D . Очевидно, что при поиске зон с малой степенью пластической деформации основу выборки будут составлять значения коэрцитивной силы, отражающие работу пластически недеформированного металла, и плотность их распределения подчинена нормальному закону распределения, математическое ожидание которого ($H_{\text{СД}}$) соответствует действующему напряжению в МК на момент обследования $\sigma_{\text{д}}$. Функция плотности распределения $\varphi(H_C)$ имеет при $H_{\text{СД}} = H_{\text{СД}}$ максимальное значение. Исходя из зависимостей на рис. 2, можно сделать вывод, что значения H_C при пластической деформации только увеличиваются, а значит, несимметричность плотности распределения $H_{\text{СД}}$ относительно $H_{\text{СД}}$ и определяют степень пластически деформированного металла ОК D .

Таким образом, очередной операцией методики является:

3) оценивание вероятности получения значений H_C пластически деформированного металла с помощью формулы

$$D = 1 - 2 \int_0^{H_{\text{СД}}} \varphi(H_C) dH_C, \quad (2)$$

где $\varphi(H_C)$ – плотность распределения значений $H_C \in \langle H_C \rangle$;

4) сравнение полученного значения величины D с предельным значением данной величины, при превышении которого можно утверждать о наличии в контролируемой конструкции зон, где напряжения превосходили предел упругости (имелись пластические деформации).

Экспериментально установлено, что для ОК, не подвергавшихся пластическим деформациям, значение D находилось в пределах от 0 до $\sim 0,02$. Таким образом, критерием наличия пластической деформации (потери несущей способности) контролируемой МК СО можно считать выполнение условия (3)

$$D \geq 0,03. \quad (3)$$

В результате проведенных исследований по установлению зависимости изменения магнитных свойств стали от степени пластической деформации образцов предложена методика оценивания потери несущей способности МК СО, основанная на необратимости изменений значений коэрцитивной силы после пластической деформации стали. Был обоснован критерий наличия пластической деформации D , по изменению которого можно оценить динамику распространения пластической деформации между сеансами контроля, а также оценить наличие и долю пластически деформированного металла без информации о предыстории контроля и, как следствие, потерю несущей способности МК.

Список используемых источников

1. *Мионов А.Н.* Заключение о возможности продления назначенных показателей ресурса (срока службы) стартового комплекса 17П32-6: СЧ ОКР «БАЙКОНУР-НКИ-2016-ВКА-С». – СПб., 2016. – 739 с.

2. *Горкунов Э.С., Субачев Ю.В., Повлоцкая А.М.* Влияние предварительной пластической деформации на поведение магнитных характеристик высокопрочной трубной стали контролируемой прокатки при упругом одноосном растяжении (сжатии) // Дефектоскопия. – 2015. – №9. – С. 49–60.

3. Магнитные методы контроля / В.В. Клюев, В.Ф. Мужичкий, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. – М.: Машиностроение, 2006. – 848 с.
4. Горкунов Э.С., Субачев Ю.В., Повлоцкая А.М. Влияние упругой одноосной деформации среднеуглеродистой стали на ее магнитострикцию в продольном и поперечном направлениях // Дефектоскопия. – 2013. – №10. – С. 40–52.
5. Бакунов А.С., Горкунов Э.С., Щербинин В.Е. Магнитный контроль: учеб. пособие. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 192 с.
6. Влияние внешних напряжений на коэрцитивную силу углеродистых сталей / В.А. Захаров, М.А. Боровский, В.А. Комаров, В.Ф. Мужичкий // Дефектоскопия. – 1992. – №1. – С. 41–46.
7. Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. Неразрушающий контроль и диагностика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
8. Наведенная магнитная анизотропия в пластически деформированных растяжением пластинах из низкоуглеродистой стали / А.П. Ничипурук, А.Н. Сташков, М.С. Огнева, А.В. Королев, А.А. Осипов // Дефектоскопия. – 2015. – №10. – С. 19–23.
9. Вонсовский С.В. Магнетизм: монография. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1971. – 1032 с.
10. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. – М.: Мир, 1972. – 406 с.
11. Исследования причин существенных различий величин коэрцитивной силы, остаточной намагниченности и начальной магнитной проницаемости ферромагнитных сталей в нагруженном и разгруженном состоянии при их пластическом растяжении / В.Г.Кулеев, Т.П. Царькова, А.П. Ничипурук, В.И. Воронин, И.Ф. Бергер // ФММ. – 2007. – Т.103, №2. – С. 136–146.
12. Кулеев В.Г., Горкунов Э.С. Механизмы влияния внутренних и внешних напряжений на коэрцитивную силу ферромагнитных сталей // Дефектоскопия. – 1997. – №11. – С. 3–18.
13. Алексеев К.В., Мохнаткин Д.П., Лебедев Е.Л. Определение направления напряжений в упругой зоне деформации стальных конструкций при их магнитном контроле // Фундаментальные исследования. – 2015. – №12 – С.9–12.

К.В. Алексеев,
кандидат техн. наук;
Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
И.Е. Мухин,
доктор техн. наук;
П.Г. Попов;
Н.С. Самойлов,
доктор техн. наук, профессор

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НАЧАЛА ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН В КОНСТРУКЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ КОРПУСОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований применения акустико-эмиссионных средств для регистрации трещинообразования в образцах, выполненных из сплава 1160 (Д16АТ). Образцы подвергались испытаниям на одноосное растяжение, при этом имитировалось развитие трещины от технологического или эксплуатационного дефекта – концентратора напряжения в корпусе летательного аппарата. Моделирование концентратора напряжения осуществлялось с применением технологии жидкометаллического охрупчивания алюминиевых сплавов. Показана возможность регистрации начала образования и развития трещины, развивающейся вязко, методом среза от концентратора напряжения – имитации дефекта в виде трещины, образованной хрупко, методом отрыва. Обоснованы параметры акустико-эмиссионных сигналов, информативность которых является достаточной для решения указанной задачи по контролю трещинообразования в корпусах летательных аппаратов. К таким параметрам отнесены количество N , активность \dot{N}_z , энергия E и энергетическая активность \dot{E}_z сигналов.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, трещина, контроль корпуса летательного аппарата.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] представлены результаты разработки методики акустико-эмиссионного (АЭ) контроля элементов авиационной техники, выполненных из углепластика. Авторами данной статьи показано преимущество акустико-эмиссионных средств и обоснована необходимость их применения для выявления начала и развития эксплуатационных трещин. Показано, что причинами образования эксплуатационных трещин в исследуемых элементах являются возникновение концентраторов напряжений при их эксплуатации и снижение механических свойств углепластика. Для имитации концентраторов напряжений создавались дефекты методом ударных воздействий перед механическими испытаниями исследуемых элементов.

Вместе с тем при эксплуатации авиационной техники наблюдаются разрушения корпусов планера летательных аппаратов, выполненных из алюминиевых сплавов. Например, зафиксированы факты образования трещин в силовом наборе и обшивке корпусов при эксплуатации вертолетов и других летательных аппаратов [2] (рис. 1). Указанные дефекты являются наиболее частой причиной выполнения ремонтных работ корпусов авиационной техники.

Важным является то, что обнаружение данных трещин традиционными методами контроля затруднено. Наиболее вероятной причиной образования этих дефектов, учитывая достаточный запас прочности конструкции планера летательного аппарата, является наличие концентраторов напряжений. Влияние концентраторов напряжений на развитие усталостных трещин в элементах двигателей авиационной техники рассмотрено в работе [2].

Причина образования концентраторов напряжений может быть как эксплуатационная – забоины, царапины, так и технологическая – образование микротрещин при обработке деталей давлени-

ем или резанием в районах технологических отверстий, технологических изгибов и др. (рис. 1). Наиболее опасными концентраторами напряжений являются хрупкие микротрещины, в устье которых напряжения могут превосходить временное сопротивление разрушению [3]. В этом случае образование усталостных трещин будет возможным даже при условии, если значения эксплуатационных нагрузок не будут превосходить расчетные значения.

В работах [4–7] рассмотрены вопросы применения АЭ методов и обработки АЭ сигналов для идентификации дефектов в сварных соединениях, а также для изучения особенностей диффузионных процессов в алюминиевых сплавах, показана высокая чувствительность данного метода. Однако закономерности изменения АЭ сигналов при образовании трещин от концентратора напряжений в конструкционных алюминиевых сплавах ранее не рассматривались.

Таким образом, для разработки системы мониторинга технического состояния элементов силового набора и обшивки планера летательного аппарата были проведены экспериментально-теоретические исследования по оцениванию возможности регистрации АЭ средствами факта начала образования и развития эксплуатационных трещин от концентратора напряжений в алюминиевом сплаве 1160 (Д16АТ).

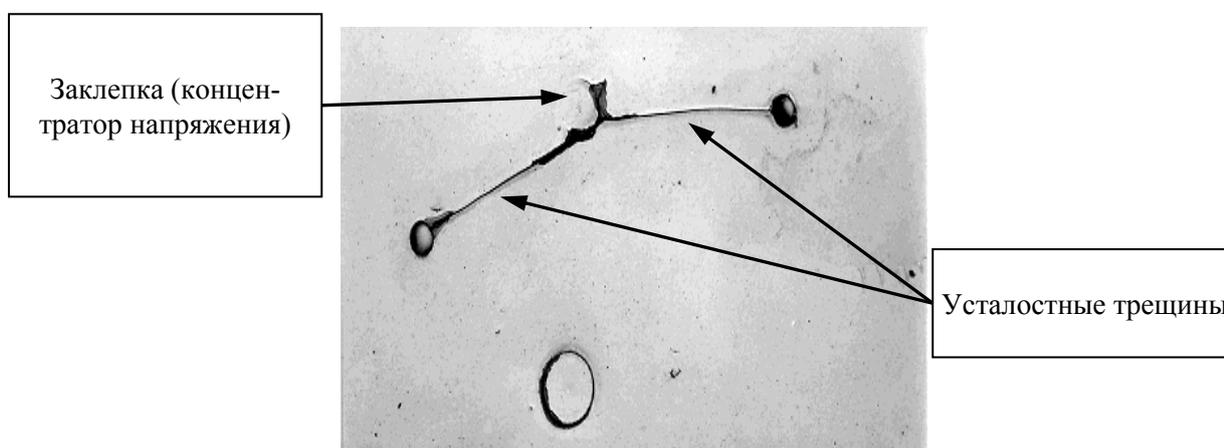


Рис. 1. Трещины, возникшие в корпусе летательного аппарата

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведение экспериментальных исследований заключалось в последовательном решении следующих задач:

- подготовки образцов для экспериментальных исследований;
- создания микротрещины для имитации эксплуатационного или технологического дефекта – концентратора напряжений;
- проведения испытаний образцов с концентраторами напряжений по схеме одноосного растяжения с одновременной регистрацией значений параметров АЭ сигналов, инициированных физическими процессами разрушения (образования и развития трещины) данных образцов.

Испытуемые образцы (рис. 2) изготовлены из алюминиевого сплава 1160 (Д16АТ) в соответствии с ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение», толщина образцов составляла 1; 1,5 и 2 мм.

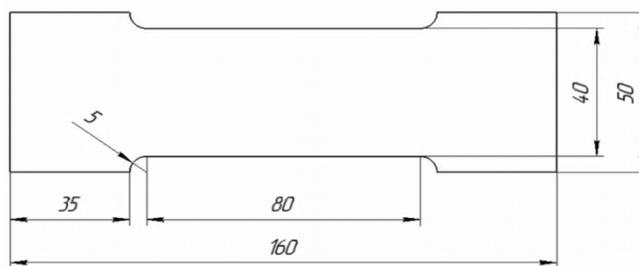


Рис. 2. Размеры испытываемых образцов

Применение образцов с различной толщиной позволило учитывать масштабный фактор при анализе результатов испытаний.

Для имитации дефекта – концентратора напряжений в виде микротрещин была использована технология [8], которая заключается в инициировании локального охрупчивающего эффекта поверхностно-активными жидкометаллическими галлийсодержащими расплавами по отношению к алюминиевым сплавам. В результате указанного охрупчивания от места нанесения капли жидкометаллического расплава при приложении незначительных механических нагрузок (30% от предела упругости условного – $\sigma_{0.2}$) в исследуемых образцах возникала трещина в направлении нормали к прилагаемой нагрузке (рис 3,а). Длина трещины зависела от массы наносимого расплава и в данных исследованиях составляла от 2 до 3 мм при массе наносимого расплава от 0,1 до 0,5 мг. Разрушение при этом осуществлялось методом отрыва, характер разрушения – хрупкий, интеркристаллитный (по границам зерен). Поверхность разрушения располагалась перпендикулярно поверхности образца.

После снятия нагрузки, учитывая характер разрушения и минимальные пластические деформации в устье трещины, данная трещина «схлопывалась», при этом обеспечивалась имитация указанных дефектов.

После приложения повторных нагрузок (рис. 3,б), при достижении определенного уровня напряжений, возникала трещина, развивающаяся методом среза, характер разрушения при этом вязкий, транскристаллитный (по телу зерен). Поверхность разрушения располагалась под углом 45° к поверхности образца.

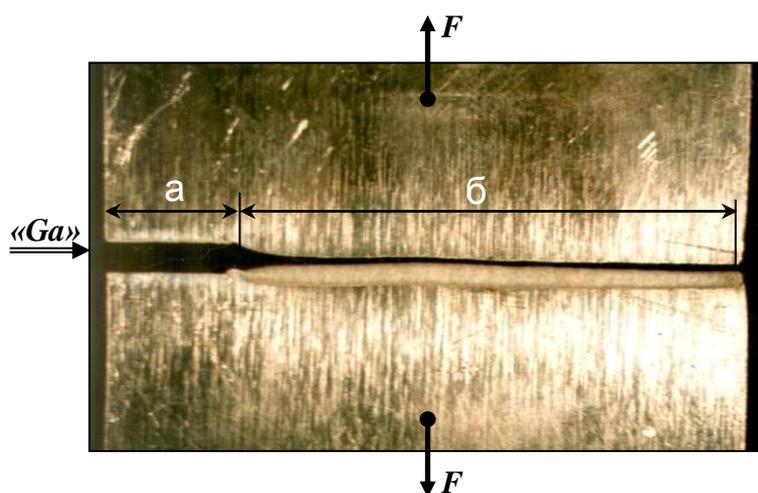


Рис. 3. Виды трещин при разрушении образцов:

- а – трещина, инициированная галлийсодержащим расплавом, разрушение методом отрыва, характер разрушения – хрупкий, интеркристаллитный (имитация дефекта);
 б – трещина, развивающаяся методом среза, характер разрушения – вязкий, транскристаллитный

Результаты микрофрактографического анализа поверхностей излома образцов с различной толщиной показаны на рис. 4.

Возможность регистрации начала образования и развития данной трещины исследована при испытаниях данных образцов по схеме одноосного растяжения. Такая схема принята для исключения влияния различных видов напряжений на результаты экспериментальных данных.

Для регистрации АЭ сигналов, возникающих при образовании и развитии трещины, показанной на рис. 3,б, на образец устанавливался пьезоэлектрический датчик ПР-15И, сигналы от которого регистрировались и обрабатывались акустико-эмиссионной системой «Малахит АС-12А». Закрепление исследуемого образца в разрывной машине и крепление на образце датчика ПР-15И представлены на рис. 5.

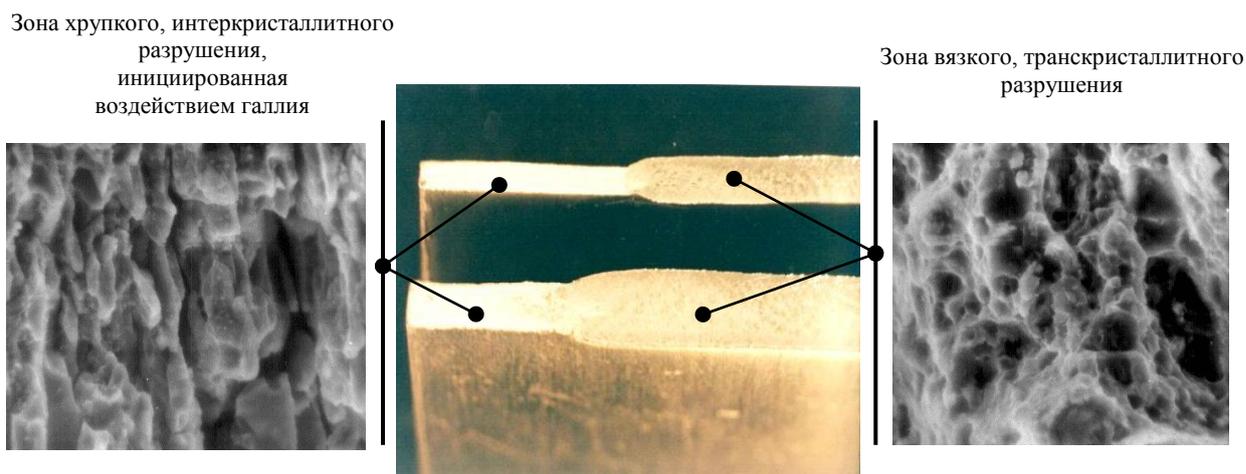


Рис. 4. Электронная микроскопия поверхности излома образцов (вторичные электроны, 500X)

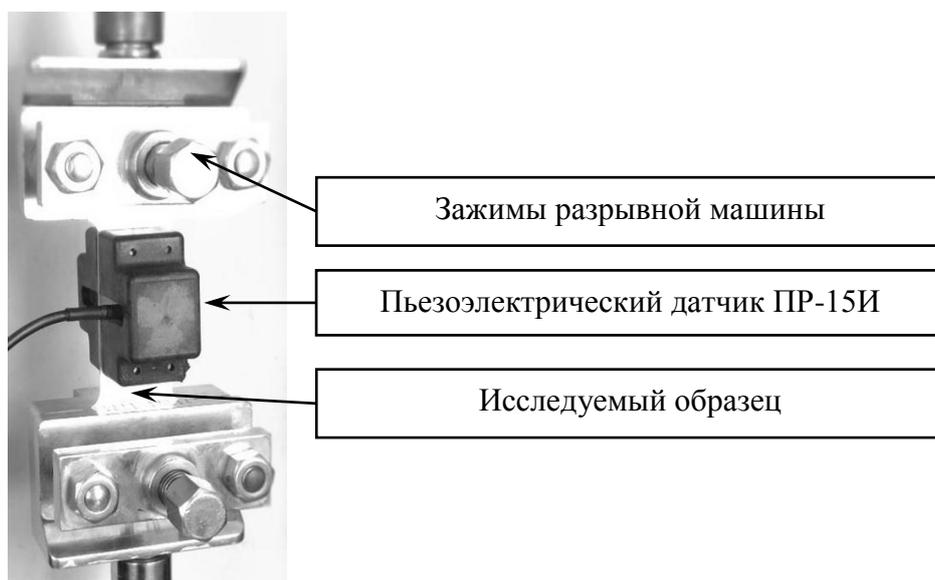


Рис. 5. Закрепление испытуемого образца с пьезоэлектрическим датчиком в разрывной машине ИР 5113-100-11

Испытания образцов по схеме одноосного растяжения выполнялись с использованием разрывной машины ИР 5113-100-11, при этом скорость движения активного захвата составляла от 0,4 до 5 мм/мин.

Необходимо отметить, что при испытании регистрировались акустико-эмиссионные сигналы как от трещины, возникающей в образце, так и «посторонние» шумы, например, от работы механизмов разрывной машины.

Для оценивания возможности регистрации начала образования и развития исследуемой трещины были использованы аппаратно-программные свойства системы «Малахит АС-12А», в частности, изменялись пороги чувствительности от 20 до 30 Дб для исключения фоновых АЭ сигналов, характеризующихся качеством исполнения датчика, а также АЭ сигналов, исходящих от разрывной машины. Кроме того, использовалась фильтрация для исключения «паразитных» АЭ сигналов, связанных с качеством коаксиального кабеля.

В результате испытаний наблюдалось образование исследуемых трещин в образцах в «упругой» зоне их деформирования – при напряжении в основном сечении около 200–350 МПа, что составляло 0,5–0,75 от $\sigma_{0,2}$ сплава 1160 (Д16АТ). Диаграмма «напряжение – деформация» образцов при их испытании показана на рис. 6. Фотография образца после испытаний – на рис. 7.

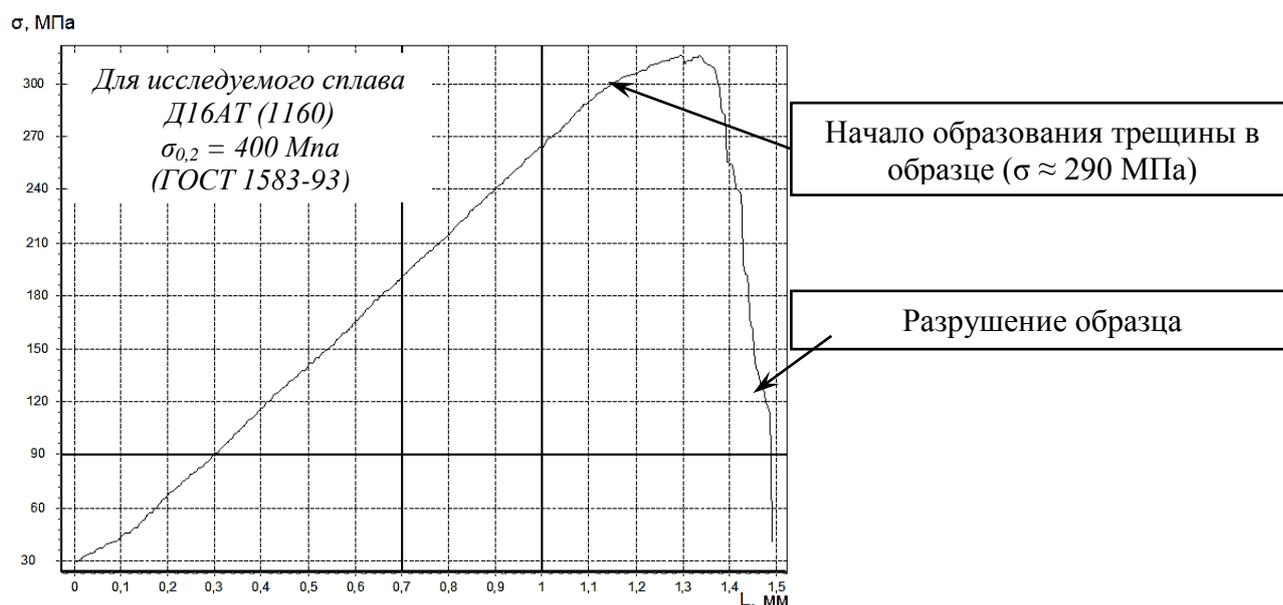


Рис. 6. Диаграмма «напряжение – деформация» образцов (напряжения в основном сечении не достигают $\sigma_{0,2}$)

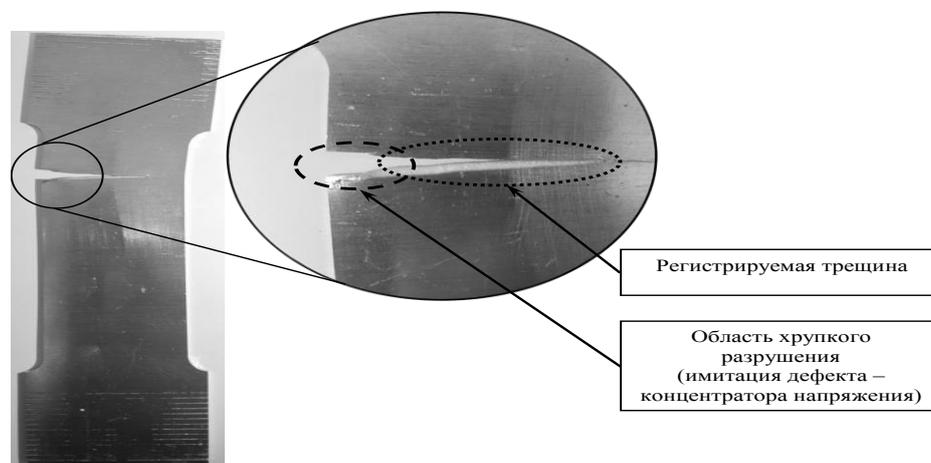


Рис. 7. Образец после испытаний

Время развития регистрируемой трещины, в зависимости от скорости деформирования, образца составляла около 5–10 с. Начало образования и развитие данной трещины сопровождалось АЭ сигналами, которые регистрировались и обрабатывались системой «Малахит АС-12А».

Источниками данных сигналов, в основном, являются разрушения ионных связей в кристаллической решетке, которые сопровождаются излучением упругих (акустических) колебаний в ультразвуковом диапазоне, они регистрируются АЭ системой. Схема формирования акустических колебаний при развитии трещины представлена на рис. 8.

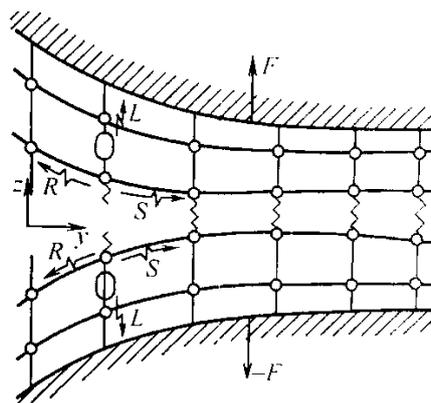


Рис. 8. Схема формирования упругих колебаний в кристаллической решетке при ее разрушении, где R , S , L – рэлеевская, сдвиговая и продольная волны соответственно [9]

Параметрами акустико-эмиссионных сигналов являются:

- сумма сигналов N – число зарегистрированных АЭ сигналов за время регистрации;
- активность \dot{N}_Σ – число зарегистрированных импульсов АЭ за единицу времени, сигн/с;
- амплитуда A – максимальное значение сигнала АЭ, Дб;
- частота F – колебание сигнала АЭ, кГц;
- энергия E – акустическая энергия, выделяемая источником АЭ и переносимая волнами, возникающими в материале, мкВ;
- энергетическая активность \dot{E}_Σ – сумма энергий АЭ сигналов, зарегистрированных за единицу времени, мкВ/мкс.

На рис. 9–12 показаны динамика изменения указанных параметров, а также амплитудно-частотная характеристика (рис. 9,д) и зависимость энергии от амплитуды АЭ сигналов (рис. 9,е) при образовании и развитии регистрируемой трещины. Согласно представленным данным, в момент образования трещины от концентратора напряжений и в процессе ее последующего развития в образце регистрируется изменение параметров АЭ сигналов. Данное изменение заключается в первую очередь в увеличении суммы N (рис. 9,а), энергии E (рис. 9,г), активности \dot{N}_Σ (рис. 11) и энергетической активности \dot{E}_Σ (рис. 12) сигналов. Кроме того, наблюдается увеличение амплитуды сигналов A (рис. 9,б), при этом частота сигналов F (рис. 9,в) практически не изменяется. На амплитудно-частотной характеристике (рис. 9,д) и зависимости энергии от амплитуды АЭ сигналов (рис. 9,е) также можно выделить сигналы, характерные для образования и развития трещины.

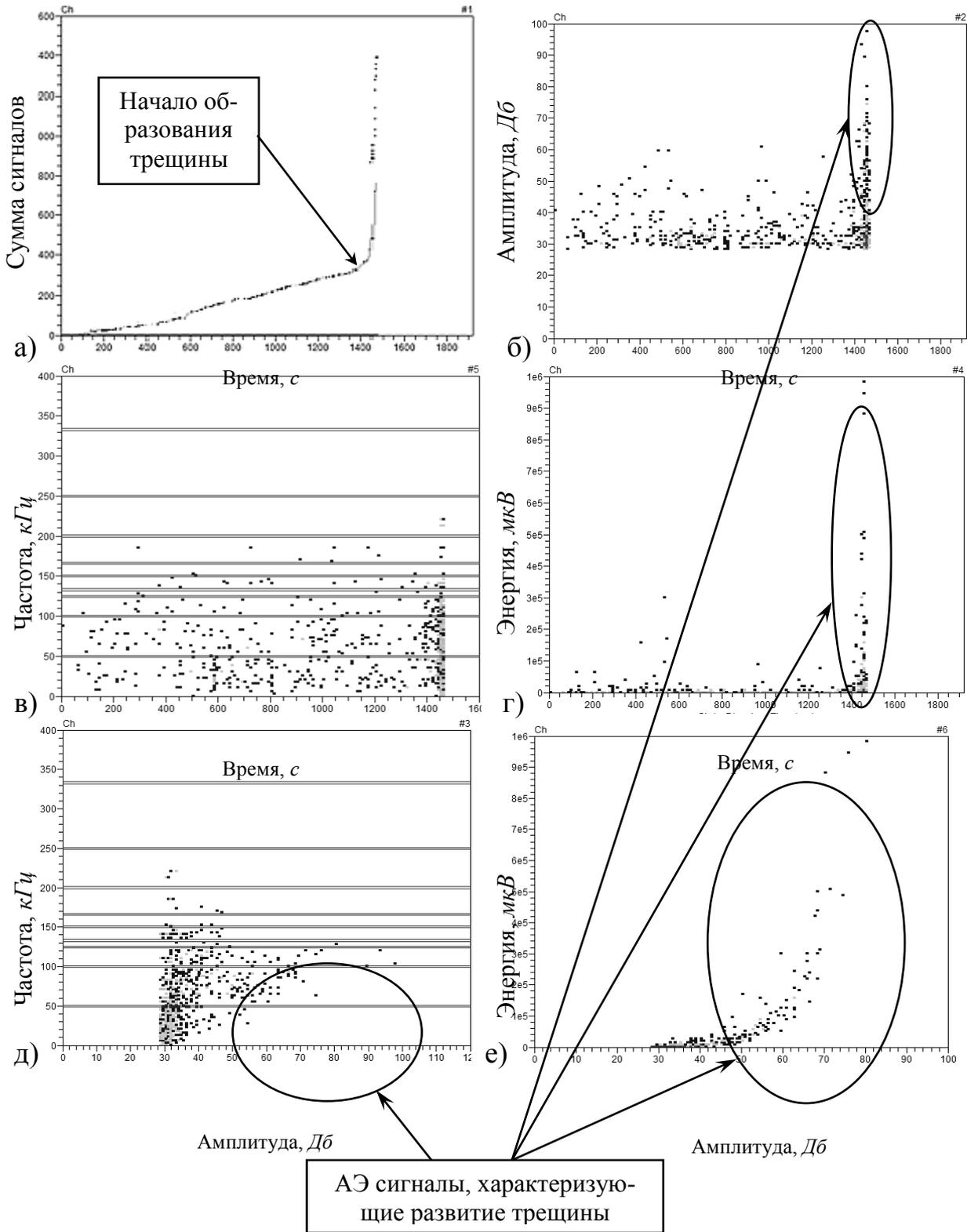


Рис. 9. Динамика изменения параметров АЭ сигналов за время разрушения исследуемых образцов

Изменение скорости деформирования влияло на длительность процесса разрушения, при этом зависимость значений параметров АЭ сигналов от данной скорости не было установлено. При увеличении толщины образца наблюдалось увеличение суммы N и активности \dot{N}_z регистрируемых сигналов. Данное обстоятельство может быть использовано

но для оценивания масштабного фактора при моделировании образования эксплуатационных трещин в элементах летательных аппаратов.

Была показана возможность фильтрации «паразитных» сигналов и сигналов, источник которых не связан с образованием или развитием трещин. Была проведена частотная фильтрация АЭ сигналов от «паразитных», характеризующих качество коаксиального провода. При этом исключены сигналы на следующих частотах: 50; 100; 125; 133,3; 150; 166,66; 200; 250; 333,3 и 500 кГц.

Также изменением порогового значения по амплитуде АЭ сигнала были «отсечены» фоновые АЭ сигналы, связанные с чувствительностью пьезоэлектрического датчика, и АЭ сигналы, исходящие от работы механизмов разрывной машины. Это позволило решить задачу «выделения» полезного сигнала на фоне шумов контролируемого объекта. Изменение суммы сигналов N с учетом фильтрации сигналов показано на рис. 10.

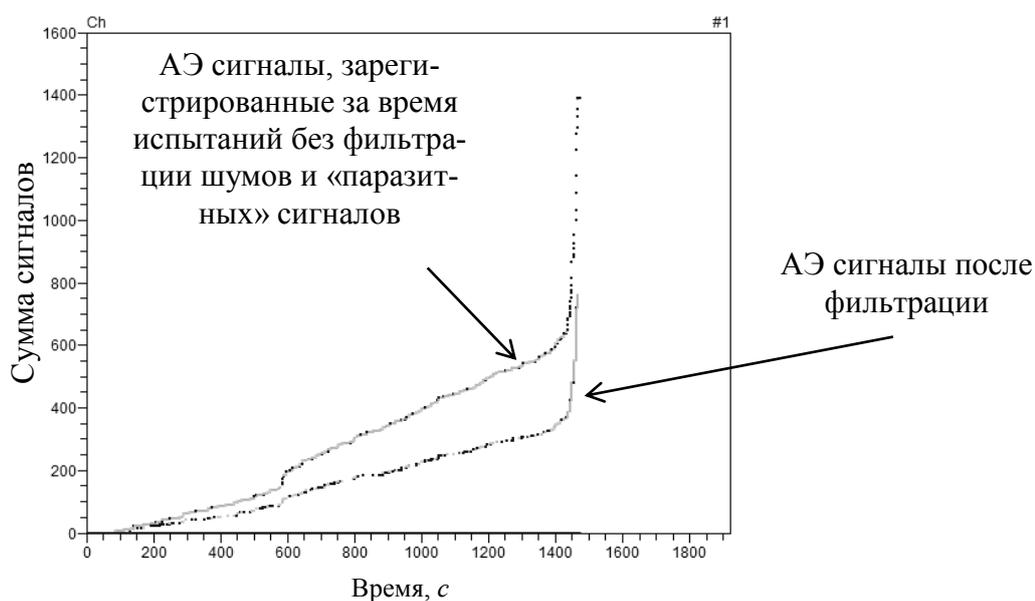


Рис. 10. Изменение параметра суммы сигналов N после «фильтрации»

Обработка параметров зарегистрированных АЭ сигналов проводилась с помощью программного обеспечения АЭ системы «Малахит АС-12А».

По результатам анализа наиболее информативными параметрами при регистрации начала и развития трещины в исследуемых образцах являются сумма N , активность \dot{N}_Σ , энергия E и энергетическая активность \dot{E}_Σ АЭ сигналов. На рис. 11 и 12 показаны изменения данных параметров за время разрушения образцов.

Как видно из представленных зависимостей, активность сигналов \dot{N}_Σ изменяется от ~ 1 до 50 сигн/с, а энергетическая активность \dot{E}_Σ от $\sim 10^3$ до $7 \cdot 10^7$ мкВ/мкс. Таким образом, параметр АЭ сигналов – энергетическая активность \dot{E}_Σ обладает большей чувствительностью к процессам образования и развития регистрируемой трещины и является более информативным для решения данной задачи по сравнению с активностью \dot{N}_Σ акустико-эмиссионных сигналов. Эти результаты совпадают с выводами, изложенными в работе [1].

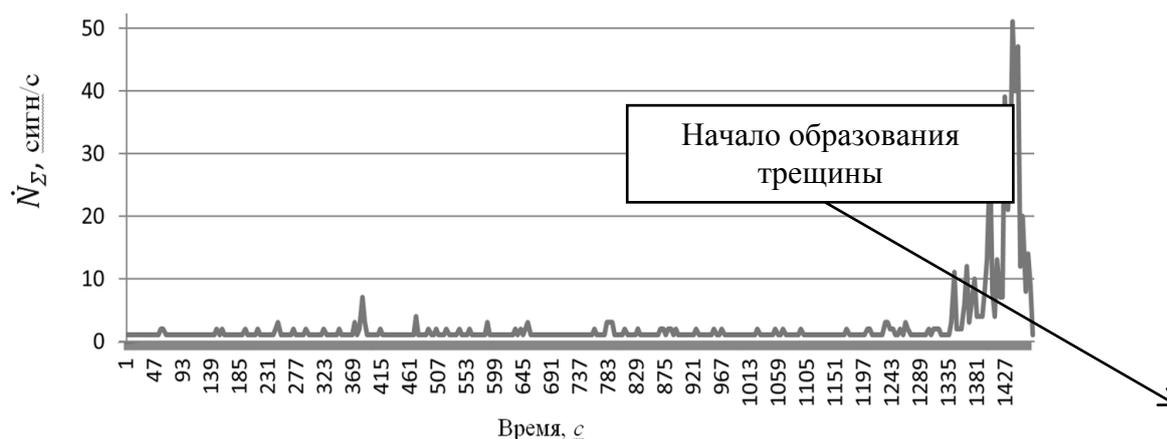


Рис. 11. Изменение активности \dot{N}_Σ сигналов АЭ при образовании и развитии регистрируемой трещины

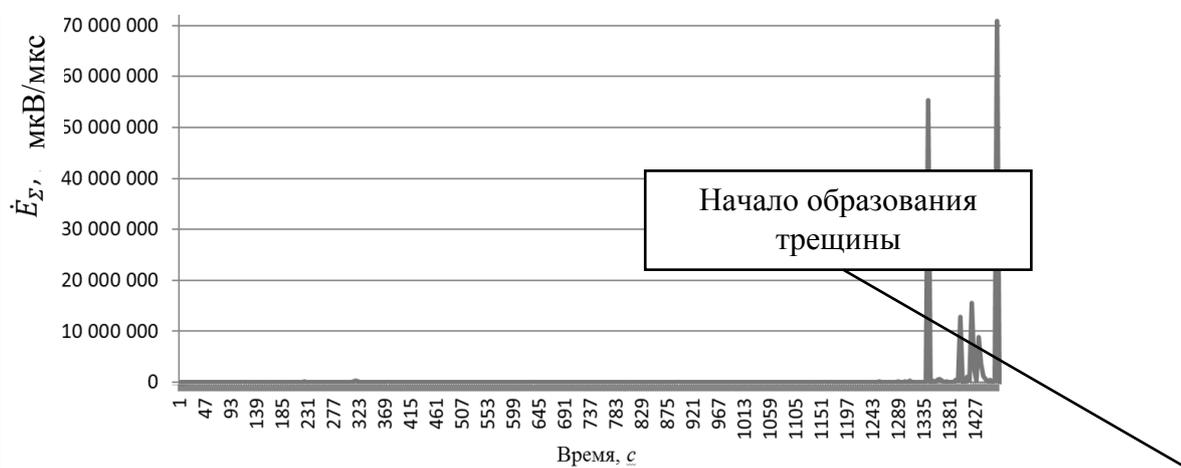


Рис. 12. Изменение энергетической активности \dot{E}_Σ сигналов АЭ при образовании и развитии регистрируемой трещины

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, получены экспериментальные данные, которые подтверждают возможность регистрации начала и развития трещин в конструкционном материале планеров летательных аппаратов – сплаве 1160 (Д16АТ). Показана возможность моделирования концентраторов напряжений, имитирующих технологические или эксплуатационные дефекты в исследуемых элементах. Представлено изменение параметров АЭ сигналов, зарегистрированных в исследуемом образце при образовании и развитии трещин в условиях одноосного испытания. Кроме этого, показана аппаратно-программная возможность фильтрации акустико-эмиссионных сигналов, не связанных с регистрируемым процессом развития контролируемого разрушения.

Установлено, что по параметрам АЭ сигналов (сумма N , активность \dot{N}_Σ , энергия E и энергетическая активность \dot{E}_Σ сигналов) возможно регистрировать разрушение образцов и наиболее информативным параметром является энергетическая активность \dot{E}_Σ . Начало образования и развитие трещины сопровождается резким увеличением значений данных параметров, при этом частота зарегистрированных сигналов остается неизменной. Такое

изменение параметров АЭ сигналов, характерное только для данного разрушения, согласуется с результатами работы [1] и может быть использовано в системе контроля трещинообразования элементов летательных аппаратов.

В дальнейшем требуется проведение экспериментальных исследований по оцениванию возможности регистрации усталостных трещин при многоцикловом нагружении элементов конструкции летательных аппаратов по параметрам АЭ сигналов. Регистрация начала образования усталостной трещины по результатам полетных данных позволит прогнозировать остаточный ресурс планера и других силовых элементов конструкций летательного аппарата в зависимости от уровня возникающих в них напряжений σ/σ_{-1} , где σ – это действующие напряжения в контролируемой конструкции, а σ_{-1} – это предел выносливости для симметричного цикла нагружения.

Данное прогнозирование может быть основано на анализе соотношения C_T/C_p , где C_T – постоянная выносливости для начала образования усталостной трещины, а C_p – постоянная выносливости окончательного разрушения при испытании на усталость конструкционных сплавов [3]. При этом для повышения надежности функционирования предлагаемой системы контроля трещинообразования элементов летательных аппаратов возможна замена применяемых сегодня пьезоэлектрических датчиков на новые средства фиксации сигналов акустической эмиссии – оптоволоконные датчики, использующие эффект Доплера. Оптоволоконные датчики позволяют регистрировать АЭ сигналы не локально, а на контролируемой площади, не зависят от декремента затухания конструкционного материала и более стойки к вибрационным нагрузкам.

Кроме того, с целью повышения достоверности факта регистрации начала образования и развития контролируемых трещин в условиях неопределенности при возможном «наложении» значений параметров АЭ сигналов от различных источников данных сигналов в условиях полета летательного аппарата, требуется применение методики, основанной на принципе статистической обработки АЭ сигналов. Пример реализации данной методики приведен в работе [10].

Список используемых источников

1. Прочностные испытания элементов авиационных конструкций из углепластика с использованием метода акустической эмиссии и тензометрии / В.Е. Барсук, Г.Г. Анохин, Л.Н. Степанова, В.В. Чернова // Полет. – 2016. – №7. – С. 53–60.

2. Бутушин С.В., Семин А.В., Фейгенбаум Ю.М. Оценка вероятности развития усталостного повреждения в элементах конструкции планера воздушного судна, имеющего производственные дефекты // Научный вестник МГТУ ГА. – 2011. – №163. – С. 103–109.

3. Самойлов Н.С., Самойлов А.Н. Ускоренные методы определения выносливости и термостойкости. – СПб.: НПО «Профессионал», 2012. – 324 с.

4. Лебедев Е.Л., Рымкевич А.П. Комплексное исследование трещинообразования в алюминиевых сплавах в присутствии галлия. Обоснование условий контактного разупрочнения твердых металлов жидкими // Вопросы материаловедения. – 2011. – № 3 (67). – С. 134–140.

5. Исследование охрупчивания алюминия и сплава АМг6 при взаимодействии с жидким галлием методом акустической эмиссии / Л.Н. Ларииков, Г.И. Прокопенко, В.И. Франчук, И.А. Якубцов // ФХММ. – 1990. – №3. – С. 5–9.

6. Плотников В.А., Макаров С.В. Деформационные эффекты и акустическая эмиссия при высокотемпературной деформации алюминия // Письма в ЖТФ. – 2008. – Т. 37, вып. 5. – С. 65–73.

7. Дмитриев А.А. Применение метода дискретного вейвлет-разложения к анализу параметров акустической эмиссии при разрушении алюминиевых сплавов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6. – С.38–42.

8. Пат. № 2287396. Способ образования трещин в образцах для испытания алюминиевых сплавов / Е.Л. Лебедев. – Заявл. 17.10.2011; зарегистрирован в Гос. реестре изобретений РФ 20.07.2012.
9. *Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э.* Акустическая эмиссия: учеб. пособие / под общ. ред. В.В. Клюева. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Спектр», 2015. – 192 с.
10. Методика распознавания степени повреждений поверхностей материалов по параметрам акустико-эмиссионных сигналов / А.С. Лебедев, А.Н. Добролюбов, Е.Л. Лебедев, А.В. Безруков // *Современные наукоемкие технологии.* – 2017. – № 2. – С. 36–40.

А.Н. Дьяков,
кандидат техн. наук;
Е.А. Жеребцов;
А.С. Кокарев,
кандидат техн. наук;
Д.В. Решетников,
кандидат техн. наук, доцент

АЛГОРИТМЫ ОПЕРАТИВНОГО ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ДОСТАВКИ КОМПЛЕКТОВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ИНСТРУМЕНТОВ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ

В работе предложен алгоритм решения задачи транспортирования ЗИП, СИ, персонала, реализация которого на вычислительных средствах позволит оперативно составить план доставки материальных средств и персонала, оптимальный по критериям длительности или ресурсоемкости, тем самым обеспечить выполнение графика подготовки и пуска РКН. Применение разработанного алгоритма на вычислительных средствах не требует специальной подготовки лица, принимающего решение (ЛПР). В публикации также приводится пример решения подобной задачи при простейших исходных данных.

Ключевые слова: транспортная задача, обеспечение эксплуатационных процессов, транспортирование вооружения, эффективность эксплуатационных процессов.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность эксплуатации технологического оборудования ракетно-космических комплексов не в последнюю очередь зависит от организации работ, обеспечивающих эксплуатационные процессы технического обслуживания и ремонта. Так, например, удаленность мест хранения и массогабаритные характеристики комплектов ЗИП, диагностического и ремонтного оборудования, а также численность и удаленность от объекта эксплуатации обслуживающего персонала оказывают влияние на эффективность эксплуатации рассматриваемых образцов вооружения через показатели продолжительности, трудоемкости и стоимости [1, 2]. Аналогичные показатели характеризуют и другие эксплуатационные процессы, такие как метрологическое обслуживание, техническое освидетельствование, диагностирование и т.д. На эффективность столь разнообразных эксплуатационных процессов, как и процесса подготовки и пуска РКН в целом, оказывают влияние обеспечивающие мероприятия, к числу которых можно отнести подвоз личного состава боевых расчетов, материальных средств и запасов. В настоящее время в войсковых частях, как правило, не используют специализированные методы для обоснования плана применения транспортных средств и военной техники, несмотря на то, что преимущества подобного обоснования очевидны. В коммерческих целях подобные задачи ежедневно решаются логистическими и транспортными компаниями, которые таким образом снижают собственные расходы. Однако известные способы без существенной доработки не пригодны для решения транспортных задач в условиях войсковых частей, эксплуатирующих ВВТ, ввиду ряда особенностей. Планирование транспортных операций в войсковых частях должно быть оптимизировано по критерию минимальной ресурсоемкости в повседневной жизнедеятельности и по критерию минимальной длительности в особый период. Кроме того, планирование должно учитывать ограничения, связанные с назначением транспортных средств, пригодных для выполнения специфических задач, отсутствие возможностей привлечения сторонних транспортных ресурсов. Безусловным преимуществом является возможность оперативной перестройки плана при возникновении неблагоприятных внешних условий. Названные факторы определяют актуальность вопросов

повышения эффективности эксплуатации ВВТ за счет снижения ресурсоемкости и длительности транспортных операций при выполнении графика подготовки и пуска РКН.

Задачи составления оптимального плана транспортирования не являются новыми. Планирование подвоза достаточно подробно рассмотрено в рамках исследования операций и известно под общим названием «Транспортная задача».

В рамках исследования операций транспортные задачи чаще всего решаются методами линейного программирования или методом потенциалов [3], однако применение подобного подхода в условиях войсковой части требует соответствующей квалификации исполнителя и временных затрат. В представленной публикации предложены алгоритмы решения транспортных задач, реализация которых в качестве программного продукта на вычислительных средствах обеспечит обоснование плана, оптимального по критерию ресурсоемкости в повседневной жизнедеятельности, оптимального по критерию длительности транспортировки в особый период. Применение программного продукта, реализующего предложенные алгоритмы, не требует специальной подготовки лица, принимающего решение, в то же время обеспечивает оперативное обоснование принимаемых решений и их корректировку в случае изменения обстановки.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНЫХ ЗАТРАТ

Для обоснования оптимального распределения транспортных средств по маршрутам движения по критерию минимальных затрат разработан алгоритм решения с помощью вычислительных средств.

Применение алгоритма проиллюстрировано на следующем примере. По плану подготовки РН «Союз-2» требуется доставить комплекты запасных частей инструментов принадлежности и материалов (ЗИП), комплектующие и средства измерения (СИ) соответствующей номенклатуры из J пунктов снабжения, находящихся на удалении R_j . Длина пути по маршрутам М1, М2, М3 (в две стороны) составляет величину $S_j=2R_j$, где $j=1, 2, 3$ (рис. 1), значения длины пути приведены в табл. 1.

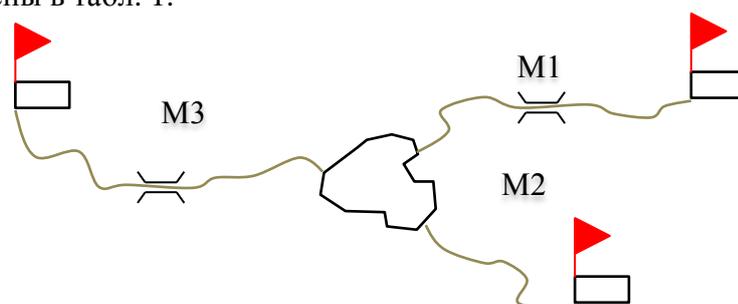


Рис. 1. Маршруты подвоза ЗИП, комплектующих и СИ

Таблица 1

Протяженность пути по маршрутам

Маршрут	М1	М2	М3
Расстояние, км	$S_1=30$	$S_2=10$	$S_3=40$

Длительность погрузки составляет 1 час; длительность разгрузки составляет 1 час.

При исходной обстановке доставить груз из любой базы снабжения возможно любым из трех имеющихся транспортных средств (ТС). Однако ввиду различий моделей транспортных средств они имеют различный расход топлива, данные по расходу топлива ТС приведены в табл. 2. Блок схема алгоритма показана на рис. 2.

Таблица 2

Средний расход топлива i -го транспортного средства

ТС	ts-1	ts-2	ts-3
Средний расход топлива p_i	10 л/100км	20 л/100км	25 л/100км



2. Ввод исходных данных:

I – количество транспортных средств (ТС);

J – количество маршрутов;

S_j – длина пути по j -му маршруту;

p_i – средний расход топлива;

V_{ij} – средняя скорость движения i -го ТС по j -му маршруту.

Пусть w_{ij} – показатель характеризующий возможность направления i -го ТС по j -му маршруту, $w_{ij} \in \{0;1\}$; x_{ij} – затраты топлива i -го ТС на доставку груза по j -му маршруту, $x_{ij} \in X$.

3. Рассчитать показатели затрат i -го ТС на доставку груза по j -му маршруту; сформировать множество $Q_{\{i,j\}}$ вариантов распределения ТС по маршрутам, размерностью i -строк, j -столбцов.

4. Выбрать значение вектора \bar{q}^* , состоящего из i элементов и обеспечивающего минимальное значение функции.

5. Выбранное значение \bar{q}^* , поместить в множество $Q_{\{i,j\}}^*$.

6. Удалить выбранный вектор \bar{q}^* из состава множества $Q_{\{i,j\}}$.

7. Если множество $Q_{\{i,j\}}$ не пустое, то выполнить пункты 4, 5, 6.

8. Вывод вектора \bar{q}^* , определяющего план распределения ТС по маршрутам, при котором обеспечивается минимальное значение функции, а также множества $Q_{\{i,j\}}^*$, в составе которого векторы \bar{q}^* размещены по мере возрастания ресурсоемкости.

Рис. 2. Блок-схема решения задачи по критерию минимальных затрат

При построении алгоритма приняты следующие допущения и ограничения:

– для расчетов используется средний расход топлива, который не меняется в течение всего периода движения по любому из маршрутов;

– состояние дорожного покрытия на маршрутах движения, климатические условия и конструктивные особенности транспортных средств оказывают влияние на скорость движения и обеспечивают для транспортных средств на каждом маршруте показатели скорости, указанные в табл. 3.

Таблица 3

Средняя скорость i -го транспортного средства на j -м маршруте

Транспортное средство	Средняя скорость на маршруте V_{ij} , км/ч		
	M1	M2	M3
ts-1	30	60	60
ts-2	30	40	60
ts-3	60	80	90

Пусть x_{ij} – расход топлива i -го транспортного средства на подвоз груза по j -му маршруту. Проведем расчет значений x_{ij} (по п. 3 алгоритма), полученные данные размещены в табл. 4.

Таблица 4

Ресурсоемкость доставки груза i -м ТС по j -му маршруту

x_{ij}	j		
	M1	M2	M3
x_{1j}	3	1	4
x_{2j}	6	2	8
x_{3j}	7,5	2,5	10

Принятие необоснованного (случайного) решения на организацию доставки ЗИП, комплектующих и СИ, например такого, как ts-1 по маршруту M1; ts-2 по маршруту M2; ts-3 по маршруту M3 (табл. 5), повлечет за собой затраты ресурсов в объеме $\sum_{j=1}^3 x_{ij} = 15$ л.

Таблица 5

Ресурсоемкость доставки груза i -м ТС по j -му маршруту при случайном выборе

x_{ij}	M1	M2	M3
x_1	3	–	–
x_2	–	2	–
x_3	–	–	10

Многократный выбор значений \bar{q}^* в соответствии с п. 4–8 алгоритма позволил сформировать множество $Q_{\{i,j\}}^*$, представленное в табл. 6, в порядке возрастания от наименьшей ресурсоемкости к наибольшей.

Таблица 6

Сравнение эффективности планов распределения i -х ТС по j -м маршрутам

Маршрут	Планы распределения					
	ts-2	ts-3	ts-1	ts-1	ts-3	ts-2
M1	ts-3	ts-2	ts-3	ts-2	ts-1	ts-1
M2	ts-1	ts-1	ts-2	ts-3	ts-2	ts-3
Показатель ресурсоемкости $\sum_{j=1}^3 x_{ij}$, л/100км	12,5	13,5	13,5	15	16,5	17

Применение алгоритма позволило обосновать следующее решение. Минимальный суммарный расход 12,5 л будет обеспечен при следующих направлениях: ts-1 по маршруту M3, ts-2 по маршруту M1, ts-3 по маршруту M2.

В процессе расчета кроме оптимального результата сформировано множество других возможных решений $Q_{\{i,j\}}^*$, обеспечивающих Парето-оптимальный выбор в случае изменения

обстановки. Множество $Q_{\{i,j\}}^*$ в порядке возрастания ресурсоемкости изображено в виде гистограммы на рис. 3.

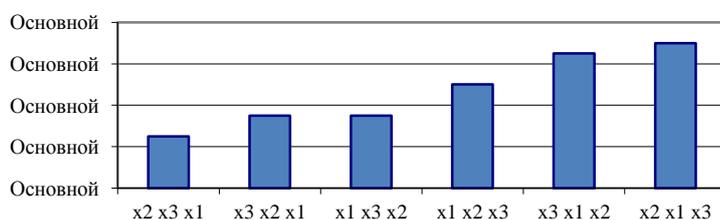


Рис.3. Гистограмма возрастания ресурсоемкости для различных планов доставки

Наличие подобного спектра решений обеспечивает оперативное обоснование альтернативного решения в случае изменения обстановки.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ

Аналогичный алгоритм построен для расчета минимальной длительности доставки грузов при тех же исходных данных. Используемый в нем способ расчета представляет собой упрощенный алгоритм Кеттеля [4, 5]. Обозначим y_{ij} – длительность доставки груза i -м ТС по j -му маршруту. Результаты расчетов y_{ij} для указанных выше исходных данных приведены в табл. 7.

Таблица 7

Длительность доставки груза i -м ТС по j -му маршруту

Значение показателя y_{ij} , ч	j -й маршрут		
	М1	М2	М3
y_{1j}	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{4}{6}$
y_{2j}	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
y_{3j}	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{4}{9}$

Для сравнения результатов представим результаты расчета без применения разработанного алгоритма. В случае, если план распределения ТС составлен без соответствующего обоснования, например ts-1 направлено по маршруту М1; ts-2 – по маршруту М2; ts-3 – по маршруту М3. В этом случае общая длительность транспортных операций составит 3 ч с учетом погрузки и выгрузки. В то же время расчет, проведенный по разработанному алгоритму, предоставляет возможность обоснования варианта выполнения операций, обеспечивающего большую оперативность. Полученные в результате расчета элементы множества $Y_{\{i,j\}}^*$ приведены в порядке возрастания длительности в табл. 8. Блок схема алгоритма показана на рис. 4.

Таблица 8

Влияние планов распределения i -х ТС по j -м маршрутам на длительность доставки ЗИП, комплектующих и СИ

Маршруты	Планы распределения ТС					
	ts-2	ts-3	ts-2	ts-3	ts-1	ts-1
М1	ts-2	ts-3	ts-2	ts-3	ts-1	ts-1
М2	ts-1	ts-1	ts-3	ts-2	ts-2	ts-3
М3	ts-3	ts-2	ts-1	ts-1	ts-3	ts-2
Длительность доставки T_{\min} , мин	30	30	40	40	60	60



2. Ввод исходных данных:

- I – количество транспортных средств;
- J – количество маршрутов;
- S_j – длина пути по j -му маршруту;
- p_i – средний расход топлива;
- V_{ij} – средняя скорость движения i -го ТС по j -му маршруту.

Пусть w_{ij} – показатель, характеризующий возможность направления i -го ТС по j -му маршруту, $w_{ij} \in \{0;1\}$; y_{ij} – длительность доставки i -м ТС груза по j -му маршруту, $y_{ij} \in Y$.

3. Рассчитать длительность доставки i -м ТС груза по j -му маршруту. Полученные значения образуют множество $Y_{\{i,j\}}$ для различных вариантов распределения ТС по маршрутам, размерностью i строк, $j!$ столбцов.

4. Выбрать значение вектора \vec{y}^* , обеспечивающего минимальное значение функции.

5. Выбранное значение поместить в множество $Y^*_{\{i,j\}}$.

6. Удалить вектор \vec{y}^* из множества $Y_{\{i,j\}}$.

7. Если множество $Y_{\{i,j\}}$ не пустое, то выполнить пункты 4, 5, 6, 7.

8. Вывод вектора \vec{y}^* , определяющего план распределения ТС по маршрутам, обеспечивающим минимальное время доставки всех грузов, и множества $Y^*_{\{i,j\}}$, в котором элементы размещены по мере возрастания длительности.

Рис. 4. Блок-схема решения задачи по критерию минимальной длительности

Полученные в результате решения значения для различных планов распределения показаны графически на рис. 5. Представленные расчеты наглядно демонстрируют необходимость обоснования плана распределения ТС, который обеспечивает минимальную длительность операций транспортировки ЗИП, комплектующих, СИ, что подчеркивает практическую зна-

чимось представленного алгоритма. Дополнительным преимуществом использования алгоритма является оперативность корректировки плана при изменении обстановки.

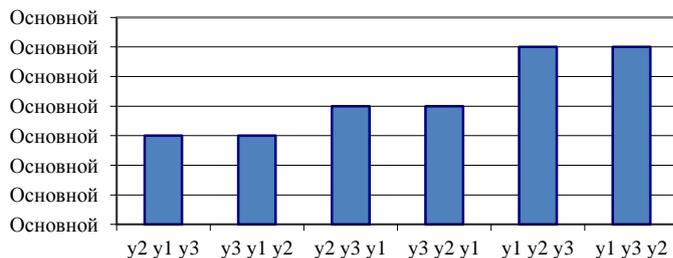


Рис. 5. Гистограмма распределение длительностей доставки для возможных планов распределения ТС

Так, при невозможности направления, например, ts-1 по маршруту М2 в качестве рационального плана распределения ТС по маршрутам могут быть выбраны: ts-2, ts-3, ts-1 или ts-3, ts-2, ts-1, которые обеспечивают длительность доставки 2 ч. 40 мин. Для идентификации Парето-оптимальных решений изобразим графически результаты расчетов, проведенных по первому и второму алгоритмам (рис. 6.) Представленная на рис. 6 гистограмма позволяет обосновать оптимальный выбор плана распределения i -х ТС по j -м маршрутам с учетом длительности и ресурсоемкости выполнения операций, чем определяется практическая значимость применения представленных алгоритмов.

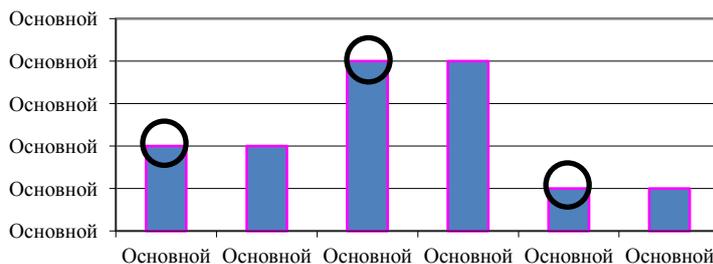


Рис. 6. Влияние планов распределения i -х ТС по j -м маршрутам на длительность и ресурсоемкость выполнения операций

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В публикации предложены алгоритмы решения транспортной задачи по критерию минимальной ресурсоемкости и по критерию оперативности доставки. Реализация представленных алгоритмов на вычислительных средствах обеспечивает поддержку принятия решения, при этом требования к специальной математической подготовке лица, принимающего решения, не предъявляются. Кроме того, использование указанных алгоритмов обеспечит оперативность обоснования оптимального плана распределения ТС с целью повышения эффективности эксплуатационных процессов. Приводится пример реализации алгоритмов при простейших исходных данных. На примерах показано, что, обоснование решений с помощью представленных алгоритмов обеспечивает снижение ресурсоемкости и длительности эксплуатационных процессов. Результатом применения алгоритмов является множество Парето-оптимальных решений, графически представленное на рис. 6, которое обеспечивает оперативную корректировку плана распределения ТС при изменении обстановки.

Список использованных источников

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 15 с.

2. ГОСТ 21623-76. Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 20 с.
3. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. – М.: Советское радио. – 1972. – 552с.
4. *Дьяков А.Н., Кокарев А.С., Решетников Д.В.* Методика выбора стратегии технического обслуживания и ремонта ракетно-космической техники // Современные проблемы науки и образования – 2015. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/129-21650> (дата обращения: 15.09.2015).
5. *Ushakov I.A.* Optimal resource allocation: with practical statistical applications and theory. – Hoboken N.J.: Wiley, 2013. – 265 p.

С.В. Зарин;
Ш.Ш. Исхаков,
кандидат техн. наук, доцент;
Ф.Е. Ковалев,
кандидат техн. наук

К ВОПРОСУ О НАУЧНОЙ ОБОСНОВАННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ПРИМЕНИМОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МЕРЫ НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В данной работе показана возможность обоснования физико-математической взаимосвязи между вероятностью перехода в аварийное состояние специальных зданий и сооружений, несущей способностью их элементов и категориями их технических состояний.

Ключевые слова: надежность, несущая способность, техническое состояние, строительный объект, стартовое сооружение.

ВВЕДЕНИЕ

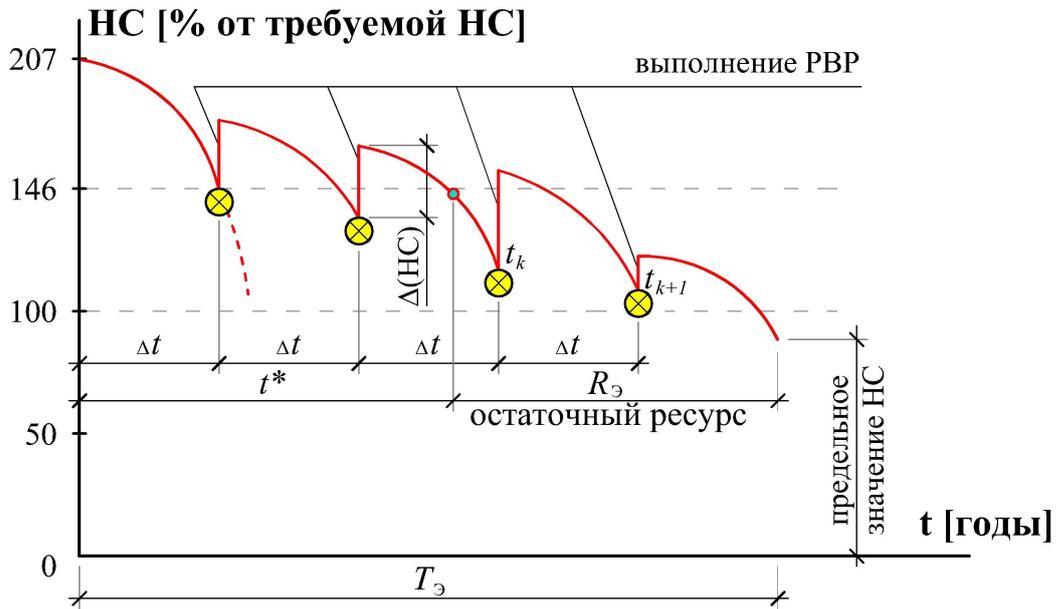
Для большинства технических объектов, кроме зданий и сооружений, их технические состояния связаны с наличием или отсутствием «отказов» отдельных элементов или всего объекта в целом, что определяет, в работоспособном или неработоспособном состоянии находится объект [1–5]. Спецификой строительных объектов является то, что в нормативной базе для конструкций и оснований зданий и сооружений [1–3, 5–7] лишь с 2014 года [8] стало использоваться понятие «отказа» наряду с понятиями «дефекты» и «повреждения», категория опасности которых влияет на основной показатель технического состояния зданий и сооружений, каковым является **несущая способность** (НС) (рис. 1) их конструкций и основания [3, 6, 7].

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

По вопросу оценивания количественной меры надежности проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений остается нерешенной методологическая проблема, связанная с тем, что вероятность того, что в заданный момент времени объект может оказаться в заданном состоянии [1, 2, 8] никак не описана какими-либо физико-математическими зависимостями ни с НС несущих элементов строительных объектов, которая снижается в процессе их эксплуатации (см. графо-аналитическую модель на рис. 1 [10]) и требует периодического выполнения ремонтно-восстановительных работ (РВР) для обеспечения требуемого (назначаемого) срока эксплуатации T_3 , ни с категориями технического состояния, установленными для строительных объектов в [6, 7].

Необходимо также отметить, что в классификации заданных (возможных) категорий технических состояний, которые регламентируются в [6, 7] и должны идентифицироваться (распознаваться) [5] при обследованиях и мониторинге состояния зданий и сооружений [3], отсутствуют количественные показатели НС конструкций и оснований (рис. 1), соответствующие тем или иным категориям их технических состояний: исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, недопустимое, аварийное [6, 7] (рис. 2). В этой ситуации на практике экспертам зачастую приходится интуитивно (сообразуясь со своим личным опытом и квалификацией) идентифицировать техническое состояние строительного объекта,

определяя общий коэффициент γ запаса НС (рис. 1) конструкций и основания доступными расчетно-теоретическими методами.



⊗ - диагностирование технического состояния и обоснование объёма РВР

Рис. 1. Графическая модель эксплуатации объекта



Рис. 2. Структурно-логический алгоритм обеспечения надежности и безопасности эксплуатации зданий и сооружений

Без решения вышеуказанных методологических проблем на практике приходится при оценивании количественных показатели надежности эксплуатируемых зданий и сооружений полагаться на опыт и квалификацию специалистов, которые дают экспертные оценки по категориям технических состояний зданий и сооружений (см. рис. 2)

НАДЕЖНОСТЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАК ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Вышеописанная ситуация неприемлема, когда речь идет об ответственных специальных зданиях и сооружениях военного назначения, включая объекты наземной космической инфраструктуры (НКИ), многие из которых по своим параметрам по ГОСТ Р 22.1.12-2005 [11] подпадают под разряд особо опасных, технически сложных и уникальных объектов.

При разрешении данной ситуации следует иметь в виду, что для многих военных объектов предъявляются требования по **живучести**, количественной мерой которой является вероятность выполнения объектом заданных функций при воздействии расчетных средств поражения противника. К военным объектам НКИ подобные требования не предъявляются, но предполагается, что они отвечают требованиям по надежности [1, 2, 11], а также, в соответствии с федеральным законом [3], требованиям по обеспечению **механической безопасности** (см. рис. 2). Под механической безопасностью понимается степень риска обрушения отдельных несущих элементов или всего здания (сооружения). Понятно, что основным показателем при оценивании такого риска является НС конструкций и основания строительных объектов (см. рис. 1). При этом на командно-штабных военных играх (КШВИ) и учениях, а также в условиях военного времени возникает необходимость в прогнозировании различных возможных ситуаций и в оценивании вероятности выполнения объектами НКИ оперативно-тактических (функциональных) задач, например по технической готовности стартовых сооружений (СС) к пуску ракет космического назначения (РКН) в установленные сроки (рис. 3) по вводной (на КШВИ) или по реальной (в условиях военного времени) информации о параметрах физико-механических характеристик материала конструкций и грунтовых оснований, получаемых по результатам обследования или мониторинга (имитируемого или фактического) состояния СС (рис. 1 и 3).

1. Процесс эксплуатации без применения вибрационной диагностики

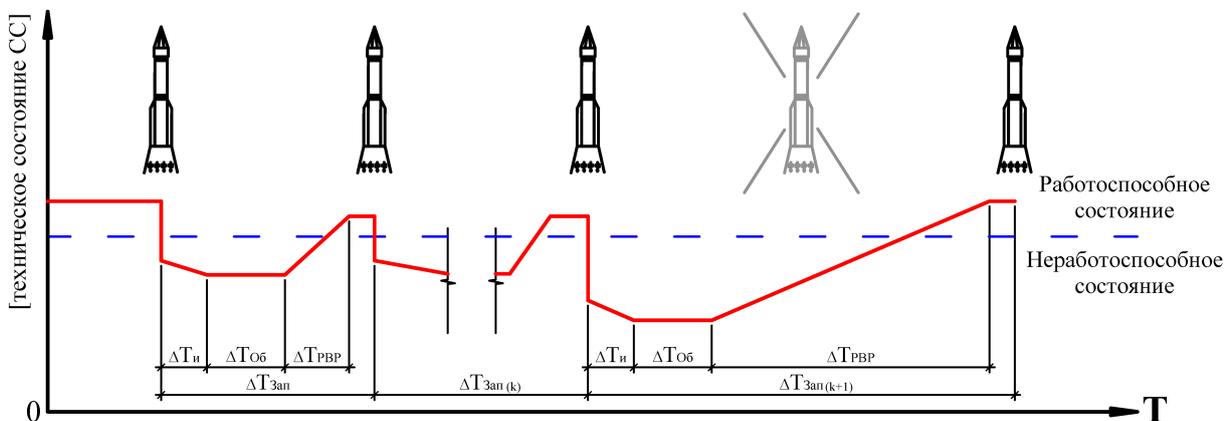


Рис. 3. Влияние использования систем мониторинга на выполнение задач по обеспечению пусков РКН в установленные сроки (начало)

ектов могут быть заданы либо путем моделирования состояния конкретных типов сооружений, либо экспертным путем [10] (рис. 4).

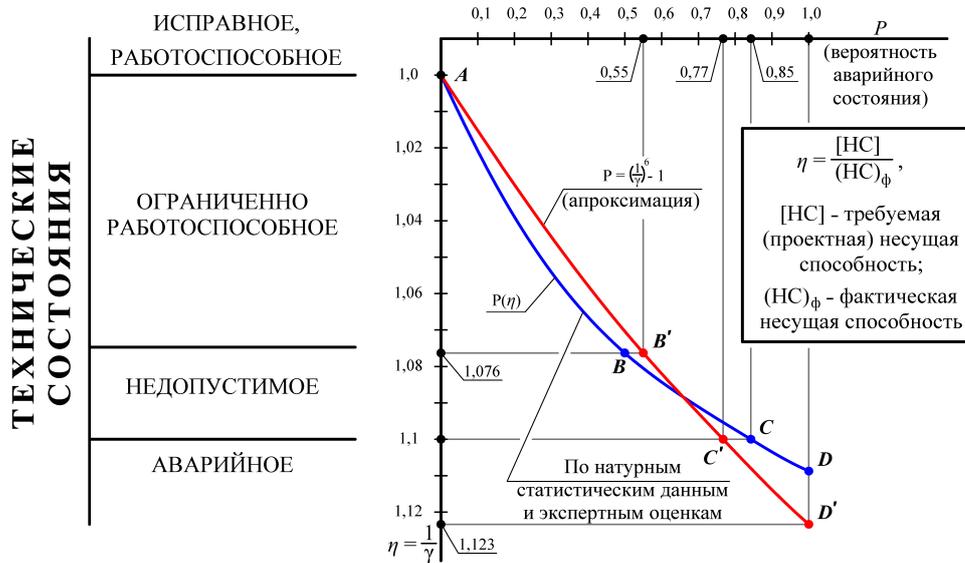


Рис. 4. Зависимость $p = f(\eta)$, сопряженная с категориями технических состояний

В соответствии с рекомендациями в [10] авторы прибегли к экспертным оценкам специалистов применительно к СС для РКН «Протон», которые эксплуатируются с 1965 года. Это дало результат, представленный на рис. 4 кривой ABCD. После аппроксимации этой кривой аналитическая функция приобрела вид номограммы, проходящей через точки AB'C'D'.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При всей сложности и многообразии строительных объектов результат, представленный на рис. 4, демонстрирует один из возможных подходов к заданию отсутствующей в нормативной базе [1–8, 10] физико-математической взаимосвязи между надежностью зданий и сооружений как вероятности $p = \{0, \dots, 1\}$ их нахождения в аварийном состоянии, категориями технического состояния [6, 7] и обеспеченностью НС их несущих элементов в виде параметра η (рис. 1 и 4), традиционно оцениваемого при обследовании и мониторинге технического состояния зданий и сооружений в виде коэффициента γ запаса НС (коэффициента надежности их конструкций и оснований [1–3, 8]):

$$\eta = \frac{1}{\gamma} = \frac{[НС]_{\text{доп}}}{[НС]_{\text{ф}}},$$

где $[НС]_{\text{доп}}$ – требуемая или допустимая НС строительных элементов (рис. 1);

$[НС]_{\text{ф}}$ – фактический уровень НС этих элементов.

Для специальных зданий и сооружений военного и двойного назначения, включая объекты НКИ, для которых не предъявляются требования по их живучести при воздействии средств поражения вероятного противника, возможность идентификации количественного показателя их надежности по вероятности $p = \{0, \dots, 1\}$ нахождения объекта в аварийном состоянии, взаимосвязанной с НС несущих элементов и категориями их технического состояния (см. рис. 1 и 4), позволяет использовать современный математический аппарат по

прогнозированию оперативно-тактической обстановки в военное время и в КШВИ различного уровня по критерию выполнения объектом заданных функций в установленное время (см. рис. 3) при фактических или заданных параметрах его технического состояния.

Список используемых источников

1. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – М.: Госстрой СССР, 1988. – 38 с.
2. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2010. – 40 с.
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ. – М.: Кремль, 2009.
4. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 32 с.
5. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Госстандарт СССР, 1989. – 16 с.
6. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой РФ, 2004. – 32 с.
7. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2011. – 89 с.
8. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2014. – 14 с.
9. РД 22-01.97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследования строительных конструкций специализированными организациями). – М.: Ростехнадзор, 1997. – 65 с.
10. Оценка надежности эксплуатации зданий и сооружений по методикам возникновения риска их неработоспособных состояний / Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалев, В.М. Васкевич, В.Ю. Рыжиков // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №7(33). – С. 76–88.
11. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2005. – 16 с.
12. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – М.: Гостехнадзор России, 2001. – 16 с.

И.В. Захаров,
кандидат техн. наук, доцент

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ЕЕ ВОЗМОЖНОЙ ДЕГРАДАЦИИ

В публикации отмечены недостатки существующих моделей функционирования бортовых вычислительных систем (БВС) космических аппаратов (КА). Предложены показатели производительности многомодульной перестраиваемой вычислительной системы и способ их оценивания. Представлена модель функционирования вычислительной системы с учетом ее возможной деградации на основе ресурсного подхода. Показан вариант построения модели БВС КА на основе учета надежности и стойкости элементов, энергоресурса и условий функционирования. Отмечена целесообразность использования предложенной модели.

Ключевые слова: вычислительная система, производительность, ресурс, деградация.

ВВЕДЕНИЕ

В целях обеспечения эффективного функционирования группировок КА в условиях деструктивных воздействий при растущих требованиях к оперативности решения целевых задач, длительности функционирования КА и ограничениях на аппаратно-программную реализацию необходимо совершенствование научно-методического аппарата анализа и синтеза архитектур бортовых вычислительных систем (БВС).

Одним из наиболее перспективных направлений решения указанной проблемы является интеллектуализация управления деградирующими информационно-вычислительными ресурсами группировок КА. Однако здесь возникают сложности для научно-методического аппарата, заключающиеся в разнообразии элементов и связей в системе, многообразии их возможных состояний, а также параметров и частных показателей качества, что ведет к серьезным затруднениям в использовании известных математических методов. В результате существующие модели вычислительных систем (ВС) отражают, как правило, частные аспекты функционирования и не агрегируют свойства стойкости и защищенности, надежности и отказоустойчивости, структурно-функциональной и параметрической деградации [1]. При этом модели ВС, достаточно адекватно учитывающие характеристики разнородных элементов, являются по сути статическими, а динамические модели ограничиваются рассмотрением кратности отказов. Композиция же предлагаемых моделей и методов оказывается крайне трудоемкой.

Необходимо отметить следующие особенности ВС рассматриваемого класса.

1. Большинство современных БВС КА строится по иерархическому принципу. В то же время современные технологии и тенденции построения бортовых комплексов управления (БКУ) КА, связанные с развитием электронной компонентной базы и коммуникационных стандартов, в том числе возможностей межспутникового информационного обмена, создают предпосылки к увеличению роли сетевых технологий и компонентов [2]. При этом функциональные связи в структуре не являются жесткими, а компоненты структуры с функциональной точки зрения можно считать отчасти универсальными, отчасти специализированными. Таким образом, для выполнения задачи могут быть задействованы функциональные элементы различных структурных единиц, объединенные иерархически, но с возможными потерями в определенных аспектах эффективности, а интеллектуализация ВС предполагает рациональный выбор способа решения заданного набора задач.

2. Для КА определенного целевого назначения можно выделить конечное число определенных режимов функционирования [3]. Следовательно, для БВС можно ограничить типовые наборы задач и определить их параметры.

3. Алгоритмы, реализуемые БВС, занимают центральное место в логике функционирования БКУ, поэтому ее неустойчивая работа критическим образом сказывается на КА в целом. Это позволяет не рассматривать экстремальные режимы, при которых коэффициент нагрузки ВС приближается к единице.

4. Элементы структуры являются невосстанавливаемыми.

С учетом сказанного представляется целесообразным использовать идеи, заложенные в известных подходах к анализу ВС. Так, существенный недостаток классических методов теории ВС применительно к деградирующим структурам заключается в детерминированных подходах к усредненным оценкам характеристик их функционирования, в то время как для ВС рассматриваемого класса существенным аспектом является и вероятностная оценка выполнения задач. Основным недостатком методов теории массового обслуживания можно считать сложность аналитических расчетов, в особенности для неоднородных систем, ведущую на практике к ряду значительных допущений. Отсюда существующие модели, с одной стороны, либо недостаточно адекватны реальным объектам рассматриваемого класса, либо не позволяют получить содержательные характеристики, которые удобно соотнести с целями функционирования системы. Поэтому необходимо построить динамическую модель ВС, служащую основой для разработки методов оценивания характеристик системы с изменяющимися параметрами работы ее элементов и потоков задач. В качестве исходных данных принимаются: структура БВС как совокупность ее элементов – вычислительных узлов и связей между ними, а также характеристики элементов; характеристики набора вычислительных задач, решаемых БВС; параметры, характеризующие условия функционирования БВС в составе аппаратуры КА. Для этого следует обосновать выбор показателей производительности БВС рассматриваемого класса и оценить их при различных вариантах структуры и характеристик ее элементов для заданного набора задач; получить вероятностные оценки возможных состояний системы при заданных условиях функционирования и параметрах воздействий; построить характеристику деградации производительности ВС заданной структуры в заданных условиях. Это связано с комплексированием подходов теории ВС, теории надежности и приемов теории массового обслуживания, учетом особенностей многоуровневых перестраиваемых БВС КА как частного класса ВС, позволяющих добиться необходимой степени адекватности, и варьированием при моделировании системы соотношением аналитического и имитационного компонентов. Задача построения указанной модели решается в два этапа: моделирование и оценивание характеристик ВС в стационарной конфигурации и в процессе ее эксплуатации.

ОЦЕНИВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В СТАЦИОНАРНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Структура ВС задается как совокупность элементов ВС и связей между ними. Элементами структуры являются вычислительные узлы $\{\zeta_i\}_{i=1;N}$. Связи в структуре заданы в виде матрицы смежности:

$$G_{N \times N} = \|g_{ij}\|, g_{ij} = \begin{cases} 0, & \zeta_i \text{ не связан с } \zeta_j \\ 1, & \zeta_i \text{ связан с } \zeta_j. \end{cases}$$

Задан типовой для данной ВС набор задач $\Omega = \{\omega_j\}_{j=1;m}$. Производительность узлов и ресурсоемкость задач связаны через распределение $B_{ij}(\hat{b}_{ij})$ случайной величины времени \hat{b}_{ij} выполнения задачи ω_j на узле ζ_i , которое целесообразно аппроксимировать усеченным нормальным ($\hat{b}_{ij} \geq \tau_{ij}^{min}$, τ_{ij}^{min} – минимальное время ее решения, определяемое q_{ij} – ресурсоем-

костью задачи на данном узле, и максимальной производительностью узла) распределением с математическим ожиданием b_{ij} и коэффициентом вариации V_{ij} . Через $B_i(\hat{b}_i)$ обозначим закон распределения времени решения типовой задачи, определяемого как суммарное время решения на узле ζ_i набора задач Ω (с учетом их кратности в наборе), отнесенное к числу задач m , имеющего математическое ожидание b_i и коэффициент вариации \tilde{V}_i .

Каждый узел ζ_i в текущий момент времени характеризуется интенсивностью потока поступающих на него задач λ_i , который будем считать простейшим для ВС рассматриваемого класса, и нагрузкой $\rho_i = \lambda_i b_i$. Это тем более справедливо при произвольном распределении времени обслуживания задач в узлах, чем больше его вариация и количество узлов в ВС. Время перехода задачи от узла к узлу будем считать мгновенным. Процесс решения задачи $\omega \in \Omega$ представляется в виде ее прохождения по цепочке элементов ψ структуры G , определяемой некоторым заданным правилом конфигурирования $\varphi: (\omega, G, \vec{\rho}) \rightarrow \Psi = \{\zeta_{\psi_1}, \dots\}$ исходя из нагрузки элементов $\vec{\rho} = \{\rho_1, \dots, \rho_N\}$.

Время решения некоторой задачи ω_j определяется суммой времен решения обслуживания задачи назначенными узлами: $\hat{t}_j = \sum_{i: \zeta_i \in \psi_j} \hat{d}_{ij}$. В свою очередь, время выполнения (пребывания) задачи в узле складывается из случайного времени ожидания, зависящего от производительности и нагрузки узла, и времени непосредственного решения (обслуживания), зависящего от производительности узла и ресурсоемкости задачи: $\hat{d}_{ij} = \hat{w}_i + \hat{b}_{ij}$. В силу принятого выше допущения модель вычислительного узла представима как система массового обслуживания типа $M/G/1$. В соответствии с формулой Поллачека – Хинчина, математическое ожидание времени выполнения заявки в такой системе составляет [4]

$$d_i = w_i + b_i, w_i = \frac{\lambda_i b_i^2 (1 + \tilde{V}_i^2)}{2(1 - \rho_i)},$$

а коэффициент вариации можно приблизительно оценить [4] как

$$V_i = 1 + 2\rho_i \tilde{V}_i^2 - 2\rho_i (1 - \rho_i) \frac{w_i}{b_i}.$$

Для того чтобы перейти от усредненного времени обслуживания \hat{b}_i к задаче ω_j с величиной времени обслуживания \hat{b}_{ij} , представим, что каждая задача состоит из двух частей: типовой со временем выполнения, распределенным по закону $B_i(\hat{b}_i)$, и особенной, обусловленной ресурсоемкостью данной задачи и имеющей случайное время обслуживания такое, что сумма этих времен распределена по закону $B_{ij}(\hat{b}_{ij})$. Из этого соображения, с учетом правила для суммы дисперсий независимых случайных величин, следует

$$d_{ij} = w_i + b_{ij}, V_{ij} = \sqrt{\frac{V_i^2 (d_i^2 - b_i^2) + \tilde{V}_{ij}^2 b_{ij}^2}{d_i - b_i + b_{ij}}}.$$

Полагая случайные величины \hat{d}_{ij} независимыми, получим математическое ожидание времени выполнения задачи $t_j = \sum_{i: \zeta_i \in \psi_j} d_{ij}$ и его среднеквадратическое отклонение $\sigma_j = \sqrt{\sum_{i: \zeta_i \in \psi_j} d_{ij}^2 V_{ij}^2}$. Отсюда вероятность выполнения задачи ω_j за директивный срок T_j вычисляется как $p_j = P\{\hat{t}_j \leq T_j\} = \frac{1}{2} + \Phi_0\left(\frac{T_j - t_j}{\sigma_j}\right)$, где Φ_0 – функция Лапласа. Итак, можно оценить ожидаемое время выполнения задачи ω_j путем ψ_j в состоянии $\vec{\rho}$. Среднее время выполнения типовой задачи получим, заменяя в приведенных выше выражениях b_{ij} на b_j .

Полученные величины t_j и p_j характеризуют способность ВС выполнить некоторую задачу в текущем режиме функционирования, но не показывают в явном виде их зависимость от входного потока задач и состояния ВС и характеризуют в большей степени саму задачу. Напротив, такие общепринятые показатели производительности, как номинальное быстродействие, пиковая пропускная способность и т.д. достаточно адекватно отражают производительность лишь простейших устройств.

Рассмотрим простейшую систему из одного вычислительного узла. Пусть в нее поступает простейший поток типовых задач интенсивностью λ , которые решаются за среднее время b . Представленным выше способом легко получить оценки среднего времени t выполнения задачи и вероятности p ее выполнения за директивный срок. Определим среднее число задач, успешно решаемых ВС за единицу времени: $v = \lambda p$. Очевидно, что $v = 0$ при $\lambda = 0$, $v \rightarrow 0$ при $\lambda \rightarrow 1/b$ и $v(\lambda)$ имеет единственную точку максимума $\lambda_0 = -\frac{p(\lambda)d\lambda}{dp}$. Предположим, что ВС решает на некотором интервале работы m задач, причем невыполнение любой задачи в директивный срок считается обесценивающим отказом. Тогда в качестве характеристики ВС следует взять $v = \lambda p^m$. Если на этом интервале в ВС поступает не только \tilde{m} критичных в указанном смысле задач, но и «некритичные» задачи, то $v = \lambda(\eta - \eta p + p)p^{\tilde{m}}$, где η – доля «критичных» задач в потоке. Таким образом, для оценки производительности ВС в заданном режиме целесообразно использовать характеристику вычислительной способности $v = \lambda p^\beta$, где $\beta \geq 1$ – коэффициент, учитывающий критичность поступающих задач. В качестве точечного показателя, характеризующего вычислительную мощность ВС, выберем значение функции $v(\lambda)$ в точке максимума: $v_0 = v(\lambda_0)$, $\lambda_0: \lambda_0 = -\frac{p(\lambda_0)d\lambda}{\beta dp}$.

Показатель β целесообразно использовать для соотнесения λ_0 и λ_ξ : $p(\lambda_\xi) = \xi$, определяя β_ξ как корень уравнения $\lambda_0(\beta_\xi) - \lambda_\xi = 0$. Следует заметить, что величину v более естественно выражать не количеством задач, а числом команд, отнесенных ко времени, через общепринятые единицы быстрогодействия как $\tilde{v}_0 = q \cdot v(\lambda_0)$, где q – объем типовой задачи (средневзвешенный объем задачи в наборе).

Таким образом, для некоторой задачи при заданной конфигурации ВС можно рассчитать ожидаемое время и вероятность успешного выполнения. В то же время величина v_0 является для ВС при заданном наборе задач характерным показателем и позволяет свернуть в один показатель быстрогодействие узлов, объем задач и их директивные сроки. Поэтому, переходя к ВС сложной структуры и потоку множества задач, для решения вопросов анализа и синтеза динамических структур и конфигураций ВС целесообразно использовать предложенный показатель как достаточно универсальный показатель, учитывающий как быстрогодействие узлов, так и параметры решаемых задач.

Итак, каждой задаче ставится в соответствие цепочка узлов по определенному правилу $\varphi: \omega_j \rightarrow \Psi_j = \{\zeta_i\}_j$. Тогда можно составить матрицу, отражающую загрузку узлов задачами:

$$Z_{N \times m} = \|z_{ij}\|, z_{ij} = \begin{cases} 0, & \zeta_i \notin \Psi_j \\ 1, & \zeta_i \in \Psi_j \end{cases}$$

Предположим, что на некотором интервале функционирования ΔT в ВС будет выполняться m задач. Тогда загрузка узла ζ_i составит $\rho_i = \frac{\sum_{j=1}^m z_{ij} b_{ij}}{\Delta T} = \frac{\lambda}{m} \sum_{j=1}^m z_{ij} b_{ij} = \lambda \sum_{j=1}^m \gamma_j z_{ij} b_{ij}$. Пользуясь представленными выше соотношениями, можно оценить среднее время выполнения задачи $t_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^m t_j}{m}$ и получить оценку средней вычислительной способности $v_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^m p_j}{\Delta T} = \frac{\lambda}{m} \sum_{j=1}^m q_j p_j = \lambda \sum_{j=1}^m \gamma_j q_j p_j$, где γ_j – доля задачи ω_j во входном потоке задач. Окончательно, с учетом коэффициента критичности задач, имеем:

$$v_{cp}(\lambda) = \lambda \sum_{j=1}^m \gamma_j q_j p_j^{\beta_j}(\lambda, \Psi_j).$$

Смысл данного показателя иллюстрирует пример, приведенный на рис. 1 при следующих значениях параметров (в условных единицах) двух вариантов системы (сплошной и штрихпунктирный графики): среднее время решения задачи 0,85 и 0,60 с коэффициентом вариации 0,4 и 0,6; директивное время 3,0 и 1,5; коэффициент критичности задачи 1 и 4. Первому варианту (штрихпунктирный график) соответствует низкое быстрогодействие и низкий уровень критичности задач, второму (сплошной график) – высокое быстрогодействие, но более критичные задачи. Таким образом, получены определяющая характеристика ВС в опреде-

ленном состоянии – зависимость производительности от набора задач и выбранный показатель – вычислительная мощность. Их особенностью является зависимость от параметров задач.

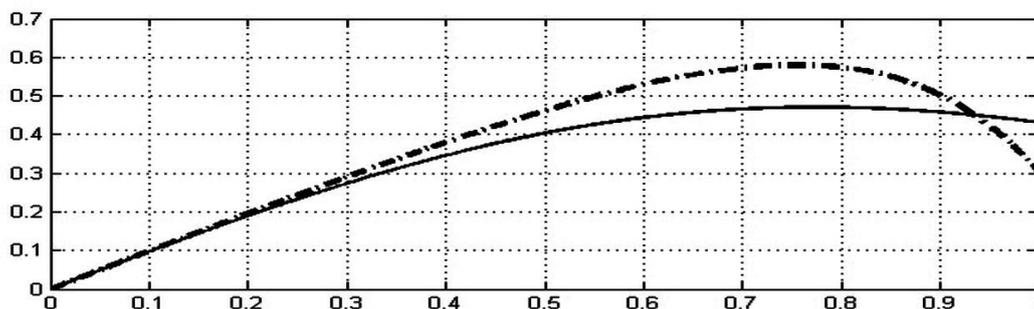


Рис. 1. Качественная иллюстрация вычислительной способности системы

Необходимо отметить, что широко используемые показатели производительности не являются вполне удовлетворительными. Так, например, оценки на основе номинального средневзвешенного быстродействия (на смеси) недостаточно адекватно учитывают ограничения по распараллеливанию различных задач в многомодульных неоднородных системах, что допустимо для интенсивного потока задач относительно малого объема, но неприемлемо для ресурсоемких. Затруднено и оценивание систем, к примеру, параллельно решающих одну задачу на нескольких узлах для повышения надежности либо множество различных задач для повышения производительности. Поэтому рассматриваемый подход представляется более предпочтительным в задачах анализа ВС указанного выше класса, при обосновании технических характеристик их компонентов и ресурсоемкости задач, в том числе и путем использования предложенных оценок вместо номинального, пикового быстродействия и подобных показателей во многих существующих моделях ВС.

ОЦЕНИВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ РЕСУРСНОГО ПОДХОДА

В основу модели положена идея о том, что элементы системы (соответственно, система в целом) в ходе эксплуатации (выполняя вычислительные задачи и подвергаясь внешним воздействиям) расходуют свой ресурс. Следует отметить, что идея ресурса в области надежности предложена профессором Седякиным [5]. В то же время очевидно, что при работе ВС расходует и ресурсы иной природы, например, электроэнергию. С другой стороны, стохастические процессы деструктивных воздействий также можно описать в терминах расхода некоего ресурса.

Определим текущее состояние системы $S(t)$ в момент времени t в виде следующей матрицы:

$$= \|s_{ij}\|_{N \times N}, s_{ij} = \begin{cases} 0, \zeta_i \text{ неработоспособен,} \\ 1, \zeta_i \text{ исправен,} \end{cases}$$

и вектор ресурсов $R = \langle R^{(1)}, R^{(2)}, \dots, R^{(L)} \rangle$. Пусть в момент времени t элемент ζ_i характеризуется вектором выработанного ресурса $\vec{r}_i(t) = \langle r_i^{(1)}(t), \dots, r_i^{(L)}(t) \rangle$, и запасом ресурса $\vec{u}_i = \langle u_i^{(1)}, \dots, u_i^{(L)} \rangle$, любые элементы которого могут быть стохастическими либо детерминированными (в том числе бесконечно большими). В общем случае запас ресурса может изменяться в процессе функционирования системы. Расход ресурса элемента $\frac{d\vec{r}_i(t)}{dt}$ в данный момент времени (что соотносится с представлением принципа Седякина в дифференциальной форме профессором Смолицким [5]) зависит от его выработанного ресурса $\vec{r}_i(t)$, режима

работы (вектора параметров внутреннего состояния \vec{c}_i) и воздействия на него среды (вектора параметров внешних воздействующих факторов \vec{h}_i):

$$\frac{dr_i^{(j)}(t)}{dt} = \delta_i^{(j)}(r_i^{(j)}, \vec{c}_i, \vec{h}_i).$$

Режим работы элемента выбирается ВС исходя из состояния системы и ресурса ее элементов, набора задач и параметров внешних воздействий согласно некоторому заданному правилу $\Phi: (\Omega, S, R, H) \rightarrow C = \{\vec{c}_i\}_{i=1, N}$, где R – информация о ресурсе системы; H – информация о внешних воздействиях на систему. Вектор внешних воздействующих факторов \vec{h}_i задается законами распределения либо детерминированной величиной. Соответственно, выработанный элементом ресурс с учетом интервала функционирования $[t, t + \Delta t]$ составит

$$r_i^{(j)}(t + \Delta t) = r_i^{(j)}(t) + \int_t^{t+\Delta t} \delta_i^{(j)}(r_i^{(j)}(\tau), \vec{c}_i(\tau), \vec{h}_i(\tau)) d\tau,$$

а состояние элемента выразим при помощи функции Хевисайда от остаточного ресурса:

$$s_i(t) = \prod_{j=1}^L \theta(u_i^{(j)} - r_i^{(j)}(t)).$$

Таким образом получим $S(t)$.

Предложенная модель многоуровневой перестраиваемой ВС в обобщенном виде представима как $MS = \langle S, \Omega, R, Y, \Phi_\Theta, \Phi_Y, \Phi_\Lambda, \Lambda \rangle$, где S, Ω, R, Λ – соответственно множество элементов структуры, множество задач, ресурс элементов и производительность ВС в указанном выше смысле, $Y = \langle C, Z \rangle$ – режим ВС; определены правила расхода ресурсов $\Phi_\Theta: S \times R \times Y \rightarrow (S, R)$, управления режимом $\Phi_Y: \Omega \times S \times R \rightarrow Y$, оценки производительности $\Phi_\Lambda: \Omega \times S \times Y \rightarrow \Lambda$. (Следует отметить, что построение конкретной модели управления Φ_Y является предметом отдельного исследования.) Имитационно-аналитическое моделирование в целом не представляет значительных трудностей для реализации, например, в среде MatLab.

В качестве иллюстрации подхода к моделированию БВС КА в условиях деструктивных воздействий рассмотрим следующий пример. Пусть однородная БВС состоит из N параллельно работающих вычислительных модулей (ВМ) номинальным быстродействием p_0 каждый и имеющих в составе flash-память с ограниченным числом циклов чтения-записи. Требуется найти суммарное ожидаемое быстродействие БВС в момент времени t . Определим и опишем в качестве ресурсов элементов и их запасов следующие величины:

1) $R^{(1)}$ – ресурс надежности в смысле физического принципа Седякина; $\hat{u}_i^{(1)} = \left(\frac{\Gamma(1+\frac{1}{\alpha})}{T^H}\right)^\alpha \hat{x}^\alpha$ (где \hat{x} – случайная величина, распределенная по закону Вейбулла с математическим ожиданием T^H (средняя наработка на отказ в номинальном режиме) и параметром формы α , Γ – гамма-функция);

2) $R^{(2)}$ – накопленная доза ионизирующего излучения космического пространства; $\hat{u}_i^{(2)}$ – случайная величина, распределенная по усеченному нормальному закону с математическим ожиданием (поражающей дозой ионизирующего излучения) $\frac{D_{ст}}{1-V\Phi_0^{-1}(p)}$ и коэффициентом вариации V [где $D_{ст}$ – уровень стойкости по вероятности сохранения работоспособности p (положим $p=0,95$; $V=0,25$ согласно ОСТ 134-1034-2012); Φ_0^{-1} – функция, обратная функции Лапласа];

3) $R^{(3)}$ – потребленная электроэнергия; $u_i^{(3)}$ – детерминированная величина, имеющая смысл ограничения потребленной элементом электроэнергии за срок его работы;

4) $R^{(4)}$ – число обращений к flash-памяти; $\hat{u}_i^{(4)}$ – случайная величина, распределенная по закону Вейбулла с математическим ожиданием N_f , параметром формы α_f ;

5) $R^{(5)}$ – ресурс, характеризующий поглощенный поток тяжелых заряженных частиц и высокоэнергетических протонов космического пространства, вызывающих одиночные радиа-

ционные эффекты катастрофического характера с интенсивностью $\mu_\varphi(t)$; $\hat{u}_i^{(5)}$ – случайная величина, распределенная по показательному закону с математическим ожиданием 1. Модель $\mu_\varphi(t)$ строится в соответствии с современными исследованиями стойкости электронной компонентной базы, моделями космического пространства и нормативной базой (РД-134-0139-2005 и другими документами) [2, 6];

б) $R^{(6)}$ – ресурс по внезапным деструктивным воздействиям, представляющим простейший поток с интенсивностью $\mu_h = k_h \frac{N_h}{T_{\text{САС}}}$ (где N_h – экспертная оценка количества внезапных деструктивных воздействий в течение срока активного существования КА $T_{\text{САС}}$, k_h – вероятность выхода элемента из строя в результате данного воздействия); $\hat{u}_i^{(6)}$ – случайная величина, распределенная по показательному закону с математическим ожиданием 1.

Зададим вектор-функцию расхода ресурсов. Из правила расхода ресурса надежности в различных режимах [5] следует $\delta_i^{(1)}(r_i^{(1)}, t) = K(t) \cdot \frac{\alpha \cdot \Gamma(1 + \frac{1}{\alpha})}{T_H} \cdot [r_i^{(1)}]^{1 - \frac{1}{\alpha}}$, где коэффициент режима работы на примере процессора можно рассчитать исходя из широко используемого уравнения Аррениуса [7]:

$$K(t) = \frac{f(t)}{f_0} e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_{\text{НОМ}}} - \frac{1}{T_{\text{ОКР}}(t) + \varepsilon E(t)} \right)}, E(t) = J U_{\text{п}}^2 f(t),$$

где $T_{\text{окр}}$ – температура внутри блока аппаратуры;
 ε – тепловое сопротивление элемента;
 E_a – энергия активации деградиационного процесса;
 k – постоянная Больцмана;
 $E(t)$ – потребляемая электрическая мощность;
 J – электрическая емкость;
 $U_{\text{п}}$ – напряжение питания;
 $f(t), f_0$ – текущая и номинальная тактовая частота соответственно.

В рамках данного примера для краткости положим $K(t)$ линейно связанным с быстродействием вычислительного модуля: $\nu(t) = \nu_0 K(t)$, и, в свою очередь, с потребляемой мощностью: $\delta_i^{(3)}(t) = E_0 K(t)$, где E_0 – потребляемая мощность в номинальном режиме. Из аналогичных соображений допустим $\delta_i^{(4)}(t) = k_f \lambda(t)$, где $\lambda(t)$ – интенсивность потока поступающих задач; k_f – коэффициент пропорциональности. Очевидно, $\delta_i^{(2)}(t) = P^{\text{ии}}(t)$ – мощность накопленной дозы ионизирующего излучения, а $\hat{\delta}_i^{(5)} = \mu_\varphi(t)$; $\hat{\delta}_i^{(6)} = \mu_h$.

Возьмем для простейшего численного примера $N=10$, $\pi_0 = 10 \text{ MIPS}$. Пусть ВМ имеют режимы работы и простоя (в режиме простоя не потребляют энергии и не выполняют задачи; интенсивность отказов в режиме простоя и в рабочем режиме относятся как $K=0,2$). Средняя наработка на отказ в рабочем режиме 20 тыс. ч, запас электроэнергии рассчитан на 10 тыс. ч работы для каждого ВМ. Имеются три варианта организации БВС. Первый вариант работает 70% времени, второй – 50% (сплошной и коротко-штриховой графики на рис. 2 соответственно). Для ВМ этих вариантов поражающая доза излучения соответствует 25 тыс. ч функционирования, и $\mu_h = 3 \cdot 10^{-5}$ 1/ч. Третий вариант строится из ВМ с поражающей дозой, соответствующей 100 тыс. ч работы, и $\mu_h = 10^{-5}$ 1/ч, работающих аналогично второму варианту, 50% времени. Иными словами, первый вариант реализует стратегию более интенсивного расхода ресурсов, второй – более экономичного, третий – аналогичен второму, но отличается повышенной стойкостью и защищенностью ВМ. Графики на рис. 2 показывают динамику математического ожидания суммарного быстродействия БВС. Из графиков видно, что даже простейшие модели показывают неоднозначность выбора структуры и алгоритмов управления ВС в условиях ее деградации, которые должны строиться на основе прогнозирования

срока активного существования, учета условий функционирования и требований по выполнению целевых задач.

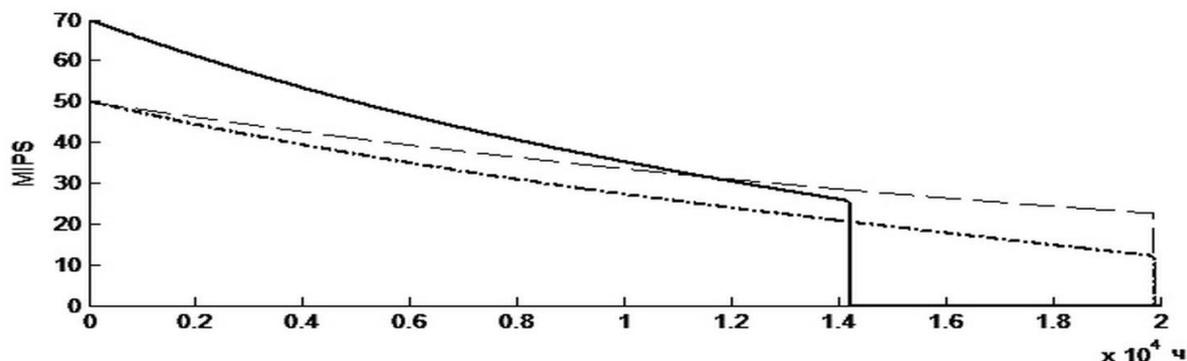


Рис. 2. Динамика производительности вычислительной системы (пример)

Необходимый для решения данной проблемы анализ многомодульных реконфигурируемых ВС может быть проведен посредством предложенного подхода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идея моделирования многоуровневой перестраиваемой ВС состоит в том, что система расходует ресурс как в обмен на выполненную вычислительную работу (целевой эффект), так и в результате внешних воздействий. Определяющей характеристикой ВС является производительность как потенциальная способность выполнить вычислительную работу. Остаточный ресурс определяет потенциальную возможность выполнить вычислительную работу в будущем, причем предыстория расхода ресурсов не имеет значения. Реализация предложенной модели носит имитационно-аналитический характер.

Преимуществом данного подхода представляется получение как статических оценок, не привязанных к априори неизвестной динамике объекта, так и динамических, что полезно в задачах синтеза и управления. Представленная модель, в отличие от классических вероятностных моделей, учитывает динамику режимов работы и алгоритмы их выбора через выработку ресурса, а в отличие от моделей структурной деградации ВС, исходящих из связности структуры и кратности отказов, параметрический характер отказа системы в целом. Предложенный подход к оцениванию определяющего показателя ВС – вычислительной мощности дает возможность свернуть параметры задач и быстродействия ВС и отражать деградацию нижних уровней иерархии (отказов вычислительных узлов) на деградацию характеристик (производительности вычислительных модулей) верхних уровней системы. Это позволит перейти к обоснованию показателей качества ВС на более высоком уровне абстракции по сравнению с классическими (быстродействием, пропускной способностью каналов, временем доступа к памяти, вероятностью безотказной работы узлов и т.п.) через оценки, например, запаса вычислительной мощности. При этом обоснованные допущения позволяют формализовать возможные структуры ВС различных вариантов топологии широкого класса и стратегии управления системой.

Предложенная модель выглядит достаточно открытой для агрегирования с моделями производительности и функциональных возможностей элементов, их надежности, стойкости и защищенности от внешних воздействий, варьирования характеристиками задач и их потоков, моделями диспетчеризации и режимов работы компонентов ВС. На ее основе строится метод, позволяющий получать оценки характеристик ВС, которые дадут возможность подойти к решению вопросов синтеза структуры и управления ВС с использованием как оптимальных, так и эвристических методов.

Список используемых источников

1. *Басыров А.Г., Захаров И.В.* Оценивание живучести бортовых вычислительных систем космических аппаратов // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского / под ред. М.М. Пенькова. – 2016. – Вып. 651. – С. 139–148.
2. *Захаров И.В., Кремез Г.В., Максимов В.А.* Построение распределенных запоминающих устройств бортовых вычислительных систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского / под ред. М.М. Пенькова. – 2016. – Вып. 652. – С. 160–166.
3. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, А.В. Соллогуб, В.П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 384 с.
4. *Алиев Т.И.* Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
5. *Смагин В.А.* Новые вопросы теории эксплуатации: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 127 с.
6. *Захаров И.В., Кремез Г.В., Фролков Е.В.* Экспериментальные исследования работоспособности электронных компонентов бортовой аппаратуры на КА серии «Можаяец» // Известия вузов. Приборостроение. – 2014. – Т. 57, № 10. – С. 66–70.
7. *Иевлев В.И., Филиппов Г.А.* Качество и надежность электронной компонентной базы ЭВМ специального назначения. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 102 с.

А.А. Казанцев;
А.А. Самородов,
кандидат техн. наук;
Б.А. Самородов

ОБСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПЕРИОДУ ЗОНДИРОВАНИЯ В НАЗЕМНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЯХ РАДИОВИДЕНИЯ

В публикации представлено обоснование требований к периоду зондирующей последовательности когерентных широкополосных импульсов применительно к перспективным радиолокационным станциям радиовидения, решающим задачу формирования радиолокационных изображений космических объектов по результатам когерентных измерений их радиолокационных (РЛ) сигнатур. Обоснование требований строится на взаимной увязке параметров орбитального движения космического объекта (КО), параметров его движения относительно собственного центра масс (ЦМ), а также угловых характеристик рассеяния КО.

Ключевые слова: радиолокационные изображения, радиолокационная станция, радиолокационные сигналы, обработка радиолокационных характеристик, радиовидение.

На современные радиолокационные средства контроля космического пространства возлагается ряд специфических задач, требующих анализа информации о геометрической форме и конструктивных особенностях объектов наблюдения. К таким задачам относятся задачи по распознаванию КО, оценке технического состояния отечественных КА и многие другие. Сведения о геометрической форме и конструктивных особенностях объекта локации извлекаются из детальной некоординатной информации (НКИ) об объекте, измеряемой специализированными широкополосными когерентными поляриметрическими радиолокационными станциями (РЛС), в результате ее сигнальной обработки. В настоящее время ведутся опытно-конструкторские работы по разработке и созданию РЛС указанного класса. По этой причине актуальной является научная задача по обоснованию и формированию требований к параметрам зондирующих сигналов для перспективных РЛС радиовидения с учетом особенностей параметров движения и характеристик рассеяния потенциальных объектов наблюдения.

При формировании двумерных радиолокационных изображений (РЛИ) КО методом инверсного синтезирования апертуры РЛС измеряет НКИ об объекте в течение некоторого времени, которое принято называть временем когерентной обработки или временем накопления радиолокационного (РЛ) сигнала $T_{\text{нак}} = t_{\text{конечн}} - t_{\text{нач}}$. При этом ракурс объекта меняется в процессе наблюдения $\theta(t)$ от значения $\theta_{\text{нач}}(t_{\text{нач}})$ до $\theta_{\text{конечн.}}(t_{\text{конечн.}})$. Величина обращаемой синтезированной апертуры $\Theta = \theta_{\text{конечн}} - \theta_{\text{нач}}$ определяет потенциальную разрешающую способность системы РЛС-КО (рис. 1) по поперечной дальности из выражения

$$\Delta y = \frac{\lambda_c}{2\Theta}, \quad (1)$$

где λ_c – средняя длина волны рабочего диапазона РЛС.

Для обеспечения удобства интерпретации РЛИ объектов целесообразно обеспечить равенство разрешающих способностей по поперечной и радиальной дальностям $\Delta y = \Delta x$.

Исходя из того, что в большинстве случаев интервал когерентности передающего и приемного устройств современных РЛС радиовидения позволяет совместно обрабатывать РЛ сигналы, отраженные от цели, в течение достаточно продолжительного интервала времени (порядка единиц минут), величину синтезируемой апертуры Θ (время $T_{\text{нак}}$) целесообразно выбирать из соображений обеспечения равенства $\Delta y = \Delta x$ в соответствии с шириной частот-

ной полосы РЛС F , определяющей величину потенциально достижимой разрешающей способности РЛС по радиальной дальности:

$$\Delta x = \frac{c}{2F}, \quad (2)$$

где c – скорость распространения электромагнитной волны в пространстве.

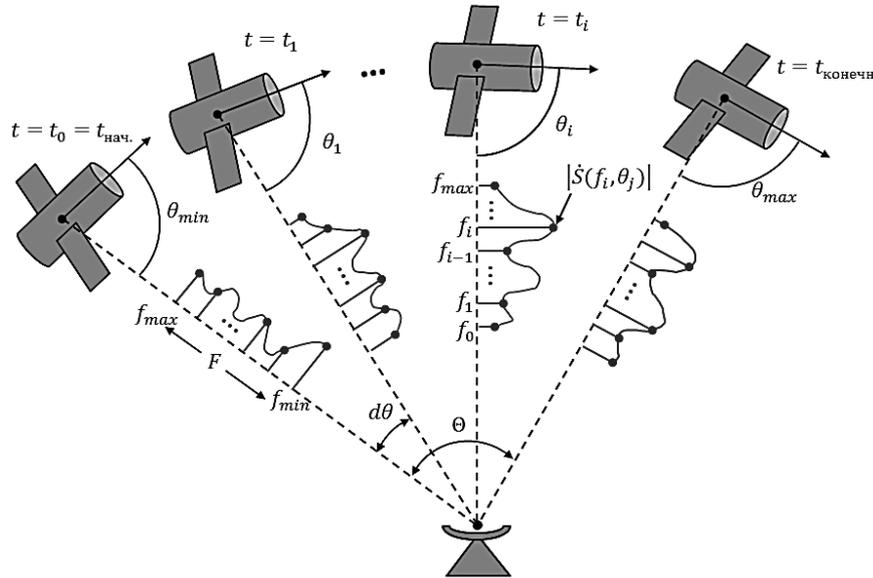


Рис. 1. Процесс измерения некоординатной информации РЛС радиовидения

Таким образом, учитывая (1) и (2), величину синтезируемой угловой апертуры необходимо ограничивать в соответствии со следующим выражением:

$$\Theta = \frac{\lambda_c}{2\Delta y} = \frac{\lambda_c}{2\Delta x} = \frac{\lambda_c \cdot F}{c}. \quad (3)$$

Шаг дискретизации синтезируемой апертуры $d\theta$ задает размеры РЛИ по поперечной дальности Y и определяется периодом следования зондирующих ЛЧМ импульсов РЛС $T_{\text{п}}$, изменением угла визирования КО в результате движения его ЦМ относительно РЛС и законом движения КО относительно собственного ЦМ:

$$Y = \frac{\lambda_c}{2d\theta}. \quad (4)$$

Таким образом, значение $T_{\text{п}}$ должно соответствовать скорости изменения ракурса объекта, которая определяется движением наблюдаемого объекта относительно РЛС, а также движением объекта относительно собственного ЦМ.

Для того чтобы оценить максимально возможное значение скорости изменения ракурса наблюдения КА и сформулировать требование к периоду зондирования РЛС $T_{\text{п}}$, первоначально следует учесть особенности параметров орбитального движения КА, представляющих интерес с точки зрения их детального наблюдения.

Оценки энергетических соотношений с учетом реализуемых в наше время параметров передающих, приемных устройств и антенных систем показывают, что возможности современных РЛС радиовидения по дальности наблюдения ограничены максимальными пределами высот орбит КА порядка 2000 км ($H \leq 2000$ км), при этом ЭПР наблюдаемых объектов должна иметь значение $\sigma \geq -20$ дБ [м²].

К искусственным спутникам, удовлетворяющим ограничениям, описанным выше, а также объектам, потенциально интересным с точки зрения радиовидения, относятся следующие КА, разделяющиеся по своему функциональному назначению: это прежде всего КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), КА низкоорбитальных систем связи и ряд других спе-

циализированных КА. Высоты орбит указанных КА, как правило, находятся в пределах $500 \leq H \leq 2000$ км, а габаритные размеры составляют порядка $1 \leq L_{\max} \leq 10$ м. Подавляющее число КА выделенного подмножества имеют трехосную стабилизацию [1, 2], что объясняется особенностями их работы по функциональному назначению, например датчиковая аппаратура КА ДЗЗ или антенны КА спутниковых систем связи должны всегда быть ориентированы в направлении земной поверхности. Данный тип стабилизации является благоприятным с точки зрения радиовидения, так как ракурс объекта меняется сравнительно медленно. Меньшее же число КА выделенного подмножества имеют стабилизацию вращением вокруг одной оси [1, 2]. При данном виде стабилизации нарушается собственная пространственная когерентность КА в силу быстрого характера изменения ракурса, и радиовидение таких КА представляется затруднительным. Под собственной пространственной когерентностью КА понимается квазистационарность пространственного положения локальных источников рассеяния цели относительно ЦМ объекта в пределах длительности периода зондирования.

В связи с вышесказанным рассмотрим случай трехосной стабилизации, когда КА стабилизирован по направлению вектора скорости при следующих допущениях: орбита – круговая, Земля – сферической формы (рис. 2). При данных допущениях рассматриваемый вид стабилизации соответствует также гравитационному типу стабилизации КА.

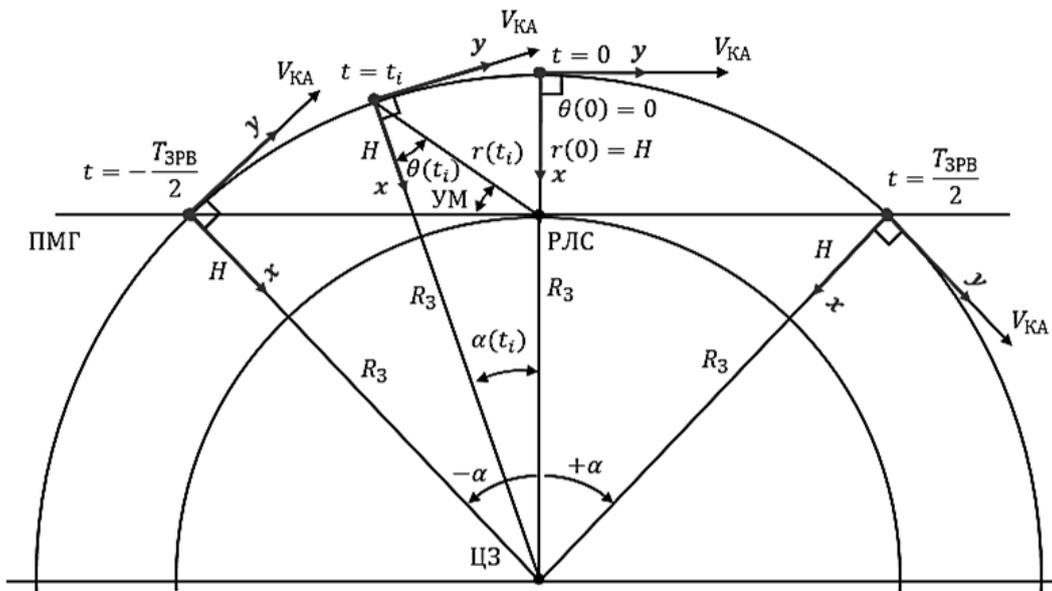


Рис. 2. Геометрия наблюдения КА, находящегося на круговой орбите и стабилизированного по трем осям

Пусть угол визирования объекта θ отсчитывается от оси x . Тогда угол α будет меняться во времени в соответствии с выражением

$$\alpha(t) = \frac{V_{КА}}{R_3 + H} \cdot t, \quad (5)$$

где R_3 – радиус Земли;

H – высота орбиты КА;

$V_{КА}$ – скорость КА на круговой орбите, которая определяется следующим соотношением:

$$V_{КА} = \sqrt{\frac{\mu_3}{R_3 + H}} \quad (6)$$

(μ_3 обозначена гравитационная постоянная Земли, $\mu_3 \cong 3.985 \cdot 10^{14}$ [м³/с²]).

Согласно теореме косинусов закон изменения дальности от времени описывается соотношением

$$R(t) = H \sqrt{1 + \frac{2R_3}{R_3 + H} \cdot \frac{1}{H^2} \cdot (1 - \cos \alpha(t))} . \quad (7)$$

На рис. 3 показаны зависимости изменения дальности до КА от времени для трех высот круговых орбит: $H_1 = 500$ км, $H_2 = 1000$ км, $H_3 = 2000$ км.

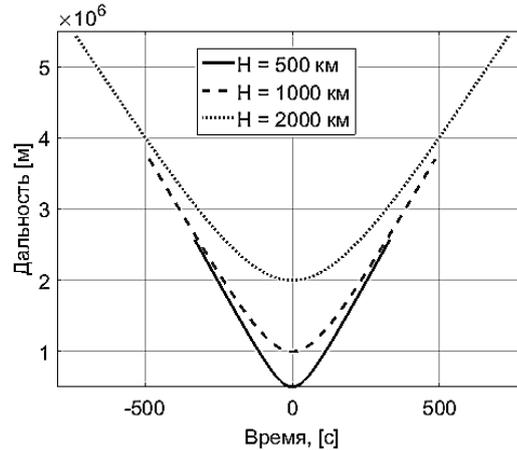


Рис. 3. Зависимости изменения дальности до КА, находящегося на круговой орбите и имеющего трехосную стабилизацию

Как видно из рис. 3, закон изменения дальности носит параболический характер, а время нахождения КА в зоне радиовидимости РЛС прямо пропорционально высоте орбиты. Тогда в соответствии с теоремой синусов для закона изменения угла наблюдения КА от времени $\theta(t)$ можно записать следующее выражение:

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \arcsin \left[\sin \alpha(t) \cdot \frac{R_3}{R(t)} \right] = \\ &= \arcsin \left[\frac{R_3}{H} \cdot \frac{\sin \left(\frac{V_{КА}}{R_3 + H} \cdot t \right)}{\sqrt{1 + \frac{2R_3}{R_3 + H} \cdot \frac{1}{H^2} \cdot (1 - \cos \left(\frac{V_{КА}}{R_3 + H} \cdot t \right))}} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

На рис. 4 показаны зависимости изменения ракурса наблюдения КА, имеющего трехосную стабилизацию, от времени для трех высот круговых орбит: $H_1 = 500$ км, $H_2 = 1000$ км, $H_3 = 2000$ км.

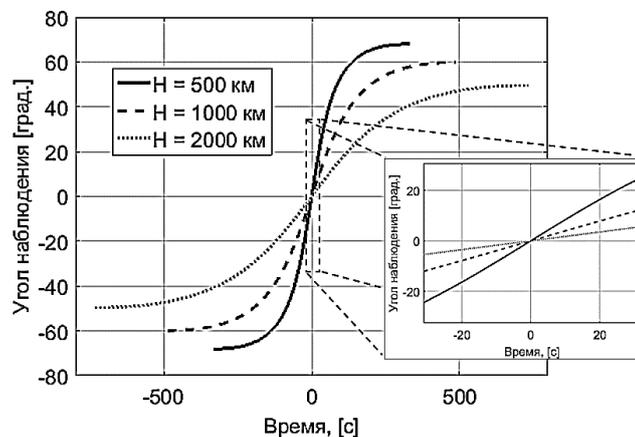


Рис. 4. Зависимости изменения ракурса наблюдения КА, находящегося на круговой орбите и имеющего трехосную стабилизацию

Из рис. 4 видно, что на определенном временном интервале наблюдения ракурс визирования объекта меняется квазилинейно. Данный временной участок является самым благоприятным с точки зрения инверсного синтезирования апертуры, в то же самое время, как видно из рис. 3, дальность до КА на данном участке траектории минимальна, что также обеспечит максимальное отношение сигнал/шум в канале. Также следует отметить, что для наиболее высоких орбит линейный участок длится дольше по времени, однако скорость изменения ракурса также меньше, что влечет за собой необходимость более длительного времени когерентного накопления сигнала для синтезирования угловой апертуры заданной величины.

В связи со сказанным выше в дальнейшем примем допущение, что ракурс наблюдения объекта на участке инверсного синтезирования апертуры изменяется линейно в зависимости от времени и определяется постоянной угловой скоростью поворота объекта ω_r [рад./с] $\theta(t) = \omega_r t$, что правомерно для большинства фоноцелевых ситуаций. Тогда для шага изменения ракурса справедливо выражение

$$\theta = \omega_r T_{\Pi} . \quad (9)$$

Подставляя (9) в (4), получим выражение

$$Y = \frac{\lambda_c}{2\omega_r T_{\Pi}} . \quad (10)$$

Из выражения (10) следует требование к выбору периода зондирования T_{Π} РЛС, которое заключается в учете максимальной скорости поворота объекта $\omega_r = \omega_{r \max}$.

Для оценивания скорости изменения угла наблюдения КА, стабилизированного по вектору скорости, необходимо продифференцировать по времени выражение для угла наблюдения (8):

$$\omega_r = \frac{\theta(t)}{dt} = \frac{R_3}{H} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{R_3^2}{H^2} \left[\sin \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \right]^2} \frac{1}{1 + \frac{2R_3(R_3 + H)}{H^2} \left(1 - \cos \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \right)}} \cdot \left[\frac{\frac{V_{КА}}{H + R_3} \cos \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \sqrt{1 + \frac{2R_3(R_3 + H)}{H^2} \left(1 - \cos \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \right)}}{1 + \frac{2R_3(R_3 + H)}{H^2} \left(1 - \cos \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \right)} - \frac{\frac{R_3 V_{КА}}{H^2} \left[\sin \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \right]^2 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2R_3(R_3 + H)}{H^2} \left(1 - \cos \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \right)}}}{1 + \frac{2R_3(R_3 + H)}{H^2} \left(1 - \cos \left(\frac{V_{КА}}{H + R_3} t \right) \right)} \right] . \quad (11)$$

На рис. 5 показаны зависимости скоростей изменения ракурса наблюдения КО для трех высот круговых орбит: $H_1 = 500$ км, $H_2 = 1000$ км, $H_3 = 2000$ км. Из рисунка видно, что максимальная скорость изменения ракурса КА, стабилизированного по трем осям, в зоне радиовидимости РЛС соответствует траверсу, так как радиальная скорость КА по отношению к РЛС равна нулю.

Таким образом, максимальное значение скорости изменения ракурса может быть найдено путем вычисления значения $d\theta/dt$ при $t = 0$. Подставив в (11) $t = 0$, получим следующее выражение для зависимости максимальной скорости КА, стабилизированного по направлению вектора скорости, от высоты его круговой орбиты:

$$\left. \frac{\theta(t)}{dt} \right|_{t=0} = \frac{V_{КА}}{H} \frac{R_3}{R_3 + H} = \frac{R_3}{H} \frac{\sqrt{\mu}}{(H + R_3)^{3/2}} . \quad (12)$$

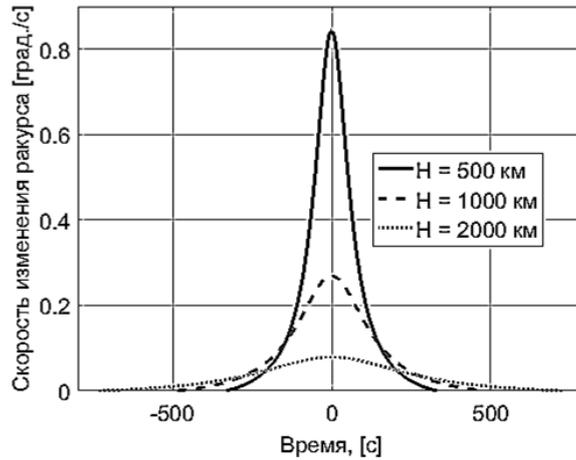


Рис. 5. Зависимости скоростей изменения ракурса наблюдения КА, находящегося на круговой орбите и стабилизированного по трем осям

График зависимости максимальной скорости изменения угла наблюдения КА от высоты круговой орбиты для КА с трехосной стабилизацией показан на рис. 6.

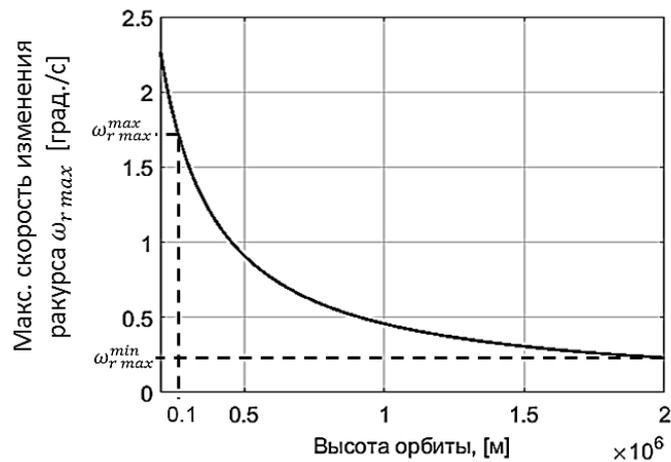


Рис. 6. Зависимость максимальной скорости изменения угла наблюдения КА от высоты круговой орбиты КА

Из рис. 6 следует, что зависимость максимальной скорости изменения ракурса визирования КА носит монотонный убывающий характер. При этом данная зависимость представляет собой произведение двух сомножителей. Первый из которых $V_{КА}/H$ определяет изменение ракурса визирования КА, вызванное перемещением ЦМ КА относительно РЛС. Второй множитель обусловлен тем, что при стабилизации КА по вектору скорости КА постоянно выполняет маневр — дополнительный поворот, в результате чего его ориентация относительно РЛС меняется быстрее в соответствии с законом $R_3/(R_3 + H)$. Приняв за минимально возможное значение высоты орбиты КА $H = 100$ км, а за максимально возможное $H = 2000$ км, исходя из ограничений, описанных выше, можно получить соответствующие экстремальные оценки максимальной скорости изменения угла визирования КА $\omega_{r \max}^{\min} \approx 0.25$ град./с (для $H = 2000$ км) и $\omega_{r \max}^{\max} \approx 1.75$ град./с (для $H = 100$ км).

Рассмотренный случай, когда КА проходит зенитную точку, является наиболее важным в части формирования требований к выбору периода зондирования, так как в этом случае скорость изменения ракурса наблюдения объекта достигает наивысших значений по сравнению с незенитными проходами КА.

В общем случае могут возникать менее благоприятные фоноцелевые ситуации с точки зрения инверсного синтезирования апертуры. Например, в условиях наблюдения, когда ракурс визирования КА практически не меняется, инверсный синтез апертуры невозможен. Следует также отметить, что в реальных фоноцелевых ситуациях целесообразно производить временную (по углу наблюдения) интерполяцию измеренных сигнатур КО. Так как в общем случае ракурс наблюдения объекта меняется по закону, отличному от линейного, и эквидистантный шаг по времени, обеспечивающийся постоянством периода следования зондирующих импульсов, соответствует неэквидистантному шагу по ракурсу визирования объекта. Интерполяция измеренных сигнатур КО по углу наблюдения (времени) должна выполняться в соответствии с законом изменения ракурса объекта наблюдения. Данный вопрос в настоящей работе не рассматривается.

РЛС, зондируя объект от импульса к импульсу, осуществляет дискретизацию его угловой характеристики рассеяния, что необходимо для получения разрешения по поперечно-радиальной дальности при формировании двумерных РЛИ объектов методом инверсного синтезирования апертуры. Поэтому помимо учета параметров орбитального движения КА при выборе T_n необходимо также руководствоваться максимальным наблюдаемым электрическим поперечным размером объекта, так как он определяет ширину самого узкого лепестка диаграммы обратного рассеяния (ДОР) КА, т.е. определяет максимальную скорость изменения угловой характеристики рассеяния объекта [3]. Несоответствие периода зондирующего сигнала скорости изменения угловой характеристики рассеяния объекта приведет к ошибкам при построении РЛИ КА. Для оценивания ширины самого узкого основного лепестка ДОР может быть использовано следующее соотношение:

$$\Delta\theta = \frac{\lambda_{\min}}{L_y \max}, \quad (13)$$

где λ_{\min} – наименьшая длина волны рабочего диапазона РЛС;

$L_y \max$ – максимальный поперечный размер объекта.

Данное выражение определяет ширину самого узкого лепестка ДОР объекта в плоскости, образованной линией визирования радиолокатора и перпендикулярной ей линией синфазной поверхности длиной $L_y \max$, вносящей основной вклад в отраженное поле. Проиллюстрировать данную особенность целесообразно на примере РЛ характеристик (РЛХ) квадратной пластины. Расчет РЛХ пластины со стороной 0.25 м и толщиной 1 мм был выполнен с помощью метода моментов в полосе частот от 1 до 18 ГГц и в диапазоне ракурсов от 0 до 90° для согласованной линейной E -поляризации ЭМ поля, при этом нулевому ракурсу визирования соответствовало направление, перпендикулярное плоскости пластины (рис. 7).

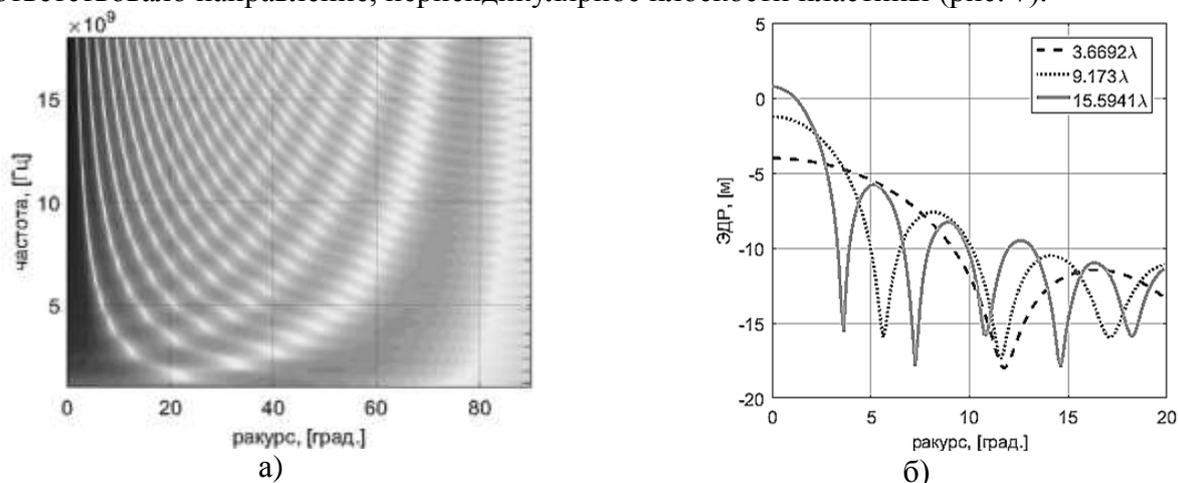


Рис. 7. Амплитудная частотно-ракурсная характеристика пластины (а); фрагменты ДОР для трех электрических размеров пластины (б)

На рис. 7, а показана амплитудная частотно-ракурсная характеристика (ЧРХ) пластины – зависимость её эффективной длины рассеяния от частоты и угла визирования. На рис. 7, б показаны три фрагмента ДОР для трех различных электрических размеров пластины.

Из амплитудной ЧРХ пластины видно, что при близких к нулевым ракурсах доминирует механизм однократного зеркального рассеяния (рис. 8, а), обусловленный синфазным суммированием токов, наведенных на поверхности пластины. При ракурсах близких к 90° проявляется интерференция двух доминирующих механизмов рассеяния: дифракции на передней и задней кромках пластины (рис. 8, б, в).

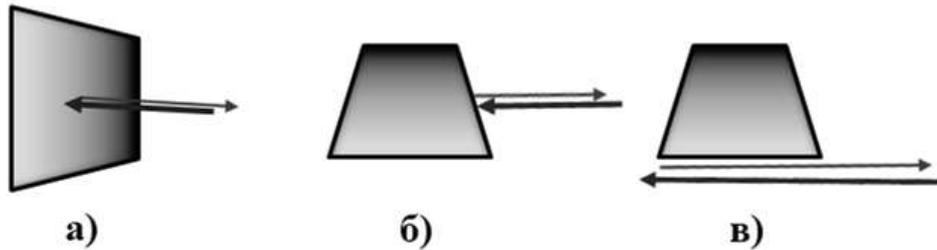


Рис. 8. Механизмы рассеяния пластины:
а – зеркальное рассеяние; б – дифракция на передней кромке;
в – дифракция на задней кромке

Из рис. 7 видно, что при увеличении электрических размеров пластины угловая зависимость механизма зеркального рассеяния пластины приобретает быстроменяющийся характер. Названная зависимость описывается следующим выражением [3, 4]:

$$\sigma(\lambda, \theta) = 4\pi \frac{[A_{\text{эф}} \text{sinc}\{ka \sin(\theta)\}]^2}{\lambda^2}, \quad (14)$$

где a – длина ребра квадратной пластины;

$A_{\text{эф}}$ – эффективная площадь квадратной пластины при нормальном ($\theta = 0$) ракурсе визирования, равная $A_{\text{эф}} = a^2$.

Так как угловая зависимость зеркального механизма рассеяния может быть описана функцией $\text{sinc}(x)$, то можно найти первый нуль данной функции, определяющий ширину главного лепестка ДОР в плоскости θ . Известно, что функция $\text{sinc}(x)$ будет принимать нулевое значение при $x = n\pi$, где $n \in N$ – принадлежит множеству натуральных чисел. Тогда положение первого нуля может быть найдено из уравнения вида

$$ka \sin(\theta) = \pi, \quad (15)$$

в соответствии со следующим выражением:

$$\theta_0 = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2a}\right). \quad (16)$$

Учитывая принятые для теории радиовидения условия квазиоптической области рассеяния [4], соответствующие соотношению $a \gg \lambda$, можно записать следующее выражение:

$$\theta_0 = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2a}\right) \sim \frac{\lambda}{2a}. \quad (17)$$

Следовательно, ширина главного лепестка будет определяться как удвоенное значение $\Delta\theta = 2\theta_0 = \lambda/a$, что соответствует эмпирическому выражению (13). Необходимо отметить, что ширина боковых лепестков функции $\text{sinc}(x)$ будет в два раза уже ширины главного лепестка. Полученная оценка минимальной ширины лепестка ДОР является экстремальной в

части максимального размера синфазно отражающей поверхности. В случае рассеяния радиоволн на реальных КА минимальная ширина лепестка может существенно (в несколько раз) превышать значение полученной оценки. На практике используют критерий обеспечения наличия нескольких (5–7) отсчетов, приходящихся на самый узкий главный лепесток ДОР объекта, т.е.

$$\theta \cong \frac{\Delta\theta}{6}. \quad (18)$$

С учетом динамики наблюдения КА, стабилизированного по трем осям, получаем следующее условие по выбору T_{Π} :

$$T_{\Pi} = \frac{\theta}{\omega_r} = \frac{\lambda_{\min}}{6 \cdot L_{y \max} \cdot \omega_{r \max}}. \quad (19)$$

Подставляя (12) в (19), получим следующее выражение, определяющее требование к выбору периода следования ЛЧМ-сигналов для РЛС радиовидения в зависимости от высоты орбиты наблюдаемого КА, стабилизированного по трем осям:

$$T_{\Pi} = \frac{H \cdot \lambda_{\min} \cdot (H + R_3)^{3/2}}{R_3 \cdot 6 \cdot L_{y \max} \cdot \sqrt{\mu}}. \quad (20)$$

Так, например, для РЛС радиовидения X -диапазона, работающей в полосе частот 9.5–10.5 ГГц и наблюдающей объект с $L_{y \max} = 6$ м на высоте орбиты 500 км, используя оценку, полученную выше, $\omega_{r \max} = 0.84$ [град./с], имеем:

$$T_{\Pi} = \frac{c}{f_{\max} \cdot 6 \cdot L_{y \max} \cdot \omega_{r \max}} = \frac{180 \cdot 3 \cdot 10^8}{10.5 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 0.84 \cdot \pi} = 0.054 \text{ с}.$$

Приведенная оценка является опорной, так как не учитывает тонкую структуру ДОР и использует аппроксимацию закона изменения ракурса визирования КО, описанную выше, однако в то же самое время она достаточно практична и удобна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа фоноцелевых ситуаций, характерных для наблюдения типовых КА, обосновано требование к выбору периода зондирующей когерентной последовательности широкополосных сигналов РЛС радиовидения. Сформулированное требование представляет собой аналитическую зависимость, учитывающую взаимную увязку параметров орбитального движения КО, а также параметров его движения относительно собственного ЦМ и угловых характеристик рассеяния КО. Очевидно, что выполнение данного требования не является затруднительным в случае локации одного объекта. Однако при одновременной работе по нескольким разнесенным целям, когда антенная система РЛС представляет собой фазированную антенную решетку с возможностью электронного управления лучом диаграммы направленности, сформулированное требование позволяет определить пропускную способность такой РЛС применительно к реализации режимов радиовидения. Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их использования в качестве исходных данных при проектировании приемных и передающих радиоэлектронных устройств РЛС радиовидения и обосновании энергетических параметров зондирующих сигналов. Дальнейшие исследования по данному направлению могут быть посвящены вопросам обработки частотно-ракурсных характеристик КО в интересах формирования их РЛИ при нелинейном характере изменения ракурса визирования объекта относительно РЛС.

Список используемых источников

1. <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database> (дата обращения: 05.10.2017).
2. *D.G.Gilmore* Spacecraft thermal control handbook // Fundamental Technologies. – 2002. – Vol.1.
3. *E.F.Knott, J.F.Shaeffler, M.T.Tuley* Radar cross section. – Second Edition. – Raleigh: Sci tech publishing, 2004.
4. *В.О. Кобак*. Радиолокационные отражатели. – М.: Сов. радио, 1975. – 248 с.

Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
Д.П. Мохнаткин;
С.А. Смуров

КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПРИЗНАК НАЛИЧИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В СТАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Представлены результаты измерения коэрцитивной силы на одинаковых образцах, изготовленных из стали Ст3 с разной степенью пластической деформации, то есть с наведенной магнитной анизотропией, при их испытаниях на растяжение в условиях идентичного нагружения. Проведен сравнительный анализ изменений значений твердости и коэрцитивной силы на данных образцах. Показаны преимущества коэрцитиметрического метода перед твердомерией в вопросе определения пластической деформации в стали.

Ключевые слова: магнитный метод неразрушающего контроля, механические напряжения, коэрцитивная сила.

Модернизация средств выведения полезной нагрузки в космическое пространство влечет за собой и изменение схем нагружения металлоконструкций (МК) стартового оборудования (СО) стартовых комплексов. Происходит это за счет увеличения как статических нагрузок, связанных с размещением дополнительного оборудования на агрегатах СО, так и повышенного динамического воздействия от газовой струи ракеты-носителя. Увеличение степени воздействия на МК СО требует постоянного контроля их технического состояния, то есть возможного уменьшения несущей способности.

Уменьшение несущей способности МК СО связано в основном с наличием пластической деформации в ее критическом сечении. Причинами возникновения пластической деформации в МК являются нештатные режимы нагружения. Во многих методиках для определения степени пластической деформации используют показатели измерений твердости конструкционного металла. В таком случае используется известный эффект наклепа поликристаллического металла, когда с увеличением степени холодной деформации свойства, характеризующие сопротивление деформации (в том числе и твердость), повышаются [6]. С появлением переносных приборов измерения твердости, а также приборов, способных производить измерения, практически не оставляя следов воздействия на объекте контроля, метод твердомерии не теряет своей актуальности и используется на действующих объектах как метод неразрушающего контроля (МНК). Однако он далеко не единственный.

В настоящее время широкое распространение в структуроскопии ферромагнитных изделий получает магнитный МНК по коэрцитивной силе, в том числе и для оценки напряженно-деформированного состояния металлоконструкций [3, 4, 7, 9].

В данной публикации представлен сравнительный анализ методов твердомерии и коэрцитиметрии для определения степени пластической деформации стали.

Для решения данной задачи были проведены дополнительные экспериментальные исследования, при этом для измерения коэрцитивной силы (H_c) использован коэрцитиметр импульсный микропроцессорный КИМ-2М и преобразователь с плоскими полюсными наконечниками МП-1. Размеры полюсов магнитопровода 5×10 мм, расстояние между ними 15 мм. Для измерения H_c в абсолютных единицах выполнено градуирование прибора на образцах толщиной 5 мм с известными значениями коэрцитивной силы. Для измерения твердости применялся комбинированный твердомер МЕТ-УДА с ультразвуковым датчиком У1; конструкция и принцип работы датчика позволяют проводить измерения без видимого отпечатка на поверхности изделия (рис. 1).

Были изготовлены два одинаковых образца прямоугольного сечения из стали Ст3 с длиной рабочей части 175 мм и размером поперечного сечения 30×7 мм. Первый образец предварительной пластической деформации не подвергался (образец №1). Второй, для имитации последствий нештатной нагрузки на МК СО, был подвержен одноосному растяжению с напряжениями в его сечении, превышающими предел текучести (образец №2). Значение относительной деформации образца №2 составило $\delta = 14\%$. Для имитации штатной нагрузки на МК СО оба образца подвергались растяжению на машине для испытаний ИР-5113-100 при нагрузке, не превышающей предел текучести (рис. 2). Применение накладного преобразователя позволило измерять H_c в разных направлениях по отношению к направлению приложения нагрузки.

Предварительные измерения коэрцитивной силы образцов при одноосном нагружении показывали, что направлениями экстремальных значений H_c являются направления 0° и 90° по отношению к прикладываемой нагрузке. Именно в этих направлениях в дальнейшем и проводились измерения H_c [1, 2, 7, 8].



Рис. 1. Измерение твердости образца с помощью твердомера МЭТ-УДА и ультразвукового датчика У1



Рис. 2. Установка ИР 5113-100 с установленным плоским образцом

Результаты измерения твердости обоих образцов показаны на рис. 3. На каждом образце, в его рабочей части, произведено по одной серии замеров на каждое значение прилагаемой нагрузки, в каждой серии выполнено по 7 замеров. Разброс значений твердости в одной серии замеров превышает указанную в паспорте прибора погрешность ± 2 HRB и составляет ± 5 HRB, что приводит к значительному пересечению результатов замеров, полученных на разных образцах при одинаковых условиях. Также очевидно незначительное изменение значений твердости (в пределах погрешности прибора) при нагружении образцов в упругой зоне деформации. В результате среднее значение измерений твердости образца №1 (76,20 HRB) меньше идентичного показателя для образца №2 (81,95 HRB), что свидетельствует о наличии наклепа на последнем, однако разница между полученными средними значениями соизмерима с погрешностью прибора, которая составляет 4 HRB. Это свидетельствует о том, что значения твердости не позволяют получить достоверный результат при определении степени пластической деформации стали.

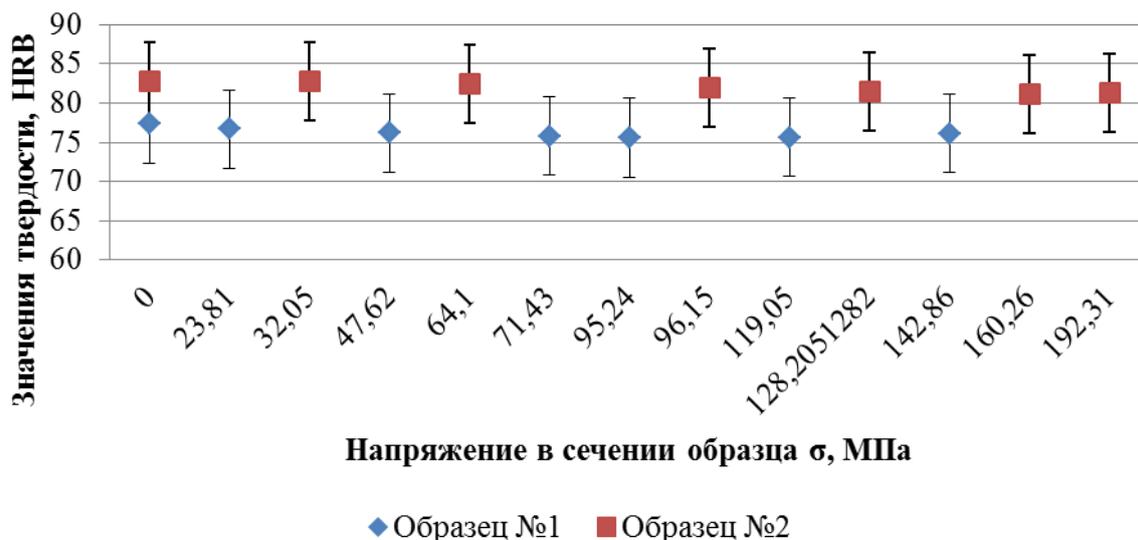


Рис. 3. Зависимость твердости образцов от напряжений (в упругой зоне деформации) с учетом их предварительной пластической деформации

Метод коэрцитиметрии использует принцип изменения количества затраченной работы по перемагничиванию зоны объекта контроля, заключенной между полюсами датчика прибора. В отличие от твердометрии контролю подвергается не поверхностный слой, а слой глубины промагничивания. При этом обеспечивается интегральная оценка структурных изменений конструкционного материала в зоне контроля.

Зависимости значений коэрцитивной силы от действующего в образцах напряжения (σ , МПа), построены по средним значениям пяти измерений в каждой точке для направления 0° (рис. 4). Идентичные зависимости для направления 90° не показали однозначной зависимости. Разброс значений H_c в одной серии замеров соизмерим с указанным в паспорте прибора и составляет ± 8 А/м.

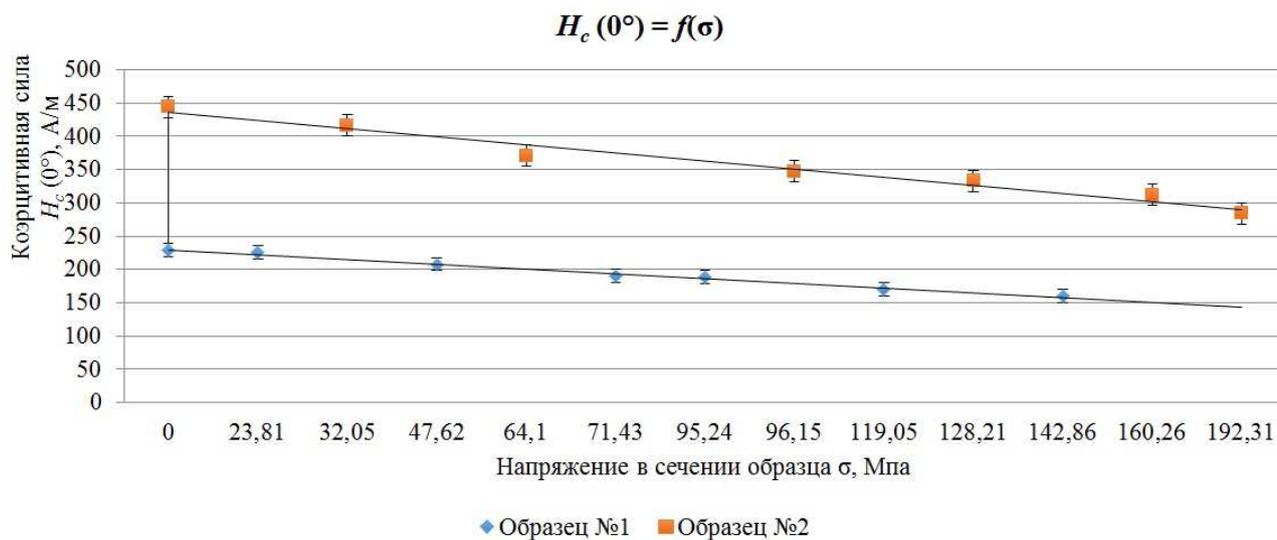


Рис. 4. Зависимость коэрцитивной силы образцов от напряжений (в упругой зоне деформации) с учетом их предварительной пластической деформации

График зависимости $H_c(0^\circ)=f(\sigma)$ для образца №1 (рис. 4) с высокой степенью достоверности аппроксимации $R^2=0,99$ описывается линейным уравнением

$$H_{C1}(0^\circ) = -7,6865\sigma + 238,54, \quad (1)$$

где σ – значение напряжения в сечении исследуемой конструкции.

Аналогичная зависимость для образца №2 описывается линейным уравнением ($R^2=0,98$)

$$H_{C2}(0^\circ) = -13,668\sigma + 453,45. \quad (2)$$

Как видно из начальных точек зависимостей для разных образцов на рис. 4, разница в значениях коэрцитивной силы, измеренных без нагрузки, составляет 215 А/м, что существенно превышает погрешность коэрцитиметра. Таким образом, значение H_c практически удвоилось для стали Ст3 при достижении степени относительной деформации 14%, что позволяет сделать вывод о том, что по значениям коэрцитивной силы можно судить о степени пластической деформации ферромагнетиков, в том числе и стали.

На действующем объекте оценивать степень пластической деформации зоны контроля, необходимо с учетом схемы нагружения исследуемой металлоконструкции. Поэтому были проведены испытания образцов на растяжение с фиксацией изменений значений коэрцитивной силы в каждой ступени нагружения. Причем максимальная нагрузка при ступенчатом нагружении не превышала предел текучести для данной марки стали.

По зависимости, построенной при нагружении образца с наведенной магнитной анизотропией (образец №2) [5], видно, что изменение $H_c(0^\circ)$ в области упругих деформаций составляет десятки процентов от начального уровня, это позволяет использовать полученную зависимость для определения степени пластической деформации стали в зоне контроля МК в процессе эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано, что магнитный метод контроля, на основе коэрцитивной силы позволяет выявлять наличие остаточной пластической деформации в условиях последующего упругого деформирования образцов. Значение коэрцитивной силы для образцов с пластической деформацией в два раза превышает данное значение для образцов, в которых предварительная пластическая деформация отсутствует. Это в 25 раз превышает погрешность прибора КИМ – 2М для измерения коэрцитивной силы. При этом аналогичное приращение твердости соизмеримо с погрешностью твердометрии. Таким образом, применение магнитного метода контроля позволит с высокой достоверностью (по сравнению с контролем твердости) оценивать локальные зоны наличия пластических деформаций в металлоконструкциях стартовых комплексов при их эксплуатации.

Полученные экспериментальные данные наглядно демонстрируют особенность применения перспективного магнитного метода контроля технического состояния металлоконструкций, который может быть основой методики для определения несущей способности металлоконструкций стартовых комплексов при их эксплуатации.

Список используемых источников

1. Магнитные методы контроля / В.В. Ключев, В.Ф. Мужичкий, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. – М.: Машиностроение, 2006. – 848 с.
2. Бакунов А.С., Горкунов Э.С., Щербинин В.Е. Магнитный контроль: учеб. пособие. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 192 с.

3. *Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В.* Неразрушающий контроль и диагностика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.
4. *Махутов Н.А., Гаденин М.М.* Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности: учеб. пособие. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 187 с.
5. Наведенная магнитная анизотропия в пластически деформированных растяжением пластинах из низкоуглеродистой стали / А.П. Ничипурук, А.Н. Сташков, М.С. Огнева, А.В. Королёв, А.А. Осипов // Дефектоскопия. – 2015. – № 10. – С. 19–23.
6. *Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П.* Материаловедение: учебник. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
7. Влияние внешних напряжений на коэрцитивную силу углеродистых сталей / В.А. Захаров, М.А. Боровский, В.А. Комаров, В.Ф. Мужичкий // Дефектоскопия. – 1992. – № 1. – С. 41–46.
8. Многопараметровые методы структуроскопии стальных изделий с использованием магнитных свойств вещества / В.Н. Костин, А.А. Осинцев, А.Н. Сташков, Т.П. Царькова // Дефектоскопия. – 2004. – № 3. – С. 69–82.
9. *Михеев М.Н.* Магнитный структурный анализ // Дефектоскопия. – 1983. – № 1. – С.3–12.

А.В. Немиров;
Г.Б. Стеганов,
кандидат техн. наук, доцент;
Ю.А. Чудновский,
кандидат техн. наук;
И.Н. Штанов

УПРАВЛЕНИЕ ФОРМОВОЧНЫМ ЗАРЯДОМ НИКЕЛЬ-ВОДОРОДНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В публикации рассматривается усовершенствованный алгоритм управления уравнивающим зарядом аккумуляторной батареи, обеспечивающий эффект выравнивания разбаланса емкостей аккумуляторов с применением формовочного цикла для достижения двух взаимосвязанных целей – снижения интегральных тепловых нагрузок на все аккумуляторы и обеспечения выравнивания (сближения) емкостей и напряжений отдельных аккумуляторов на более низком уровне заряженности, чем при штатном формовочном цикле, т.е. ближе к стационарному уровню циклирования аккумуляторных батарей. Поставленные цели достигаются управлением уставками зарядного тока, монотонно снижающимися по мере прохождения уравнивающего заряда с применением управляемого зарядного устройства. Применение метода заряда с ограничением мощности потерь и тепловых нагрузок никель-водородных аккумуляторов позволило разработать алгоритм вычисления значения убывающего тока формовочного заряда с ограничением предельных температур всех контролируемых аккумуляторов. Кроме того, заряд падающим током позволяет избежать получения аккумуляторами избыточной емкости.

Ключевые слова: система электроснабжения, аккумуляторная батарея, алгоритм.

Срок активного функционирования современных космических аппаратов (КА) на низкой околоземной орбите определяется состоянием системы электроснабжения (СЭС), а в частности аккумуляторных батарей (АБ), где проводится более 5000 циклов заряда/разряда с глубиной разряда от 20 до 40–45 %. Такой режим работы лучше всего обеспечивает никель-водородная (НВ) АБ. За 9 лет применения КА дистанционного зондирования земли специалистами РКЦ «Прогресс» (г. Самара), ОАО «Сатурн» (г. Краснодар), НПП «Полус» (г. Томск) наибольший опыт штатной эксплуатации никель-водородных (НВ) АБ накоплен применительно к батарее типа 28НВ-70 из 28 никель-водородных аккумуляторов (НВА) с номинальной емкостью 60 А·ч каждый [6]. Поэтому продление ресурса АБ является актуальной задачей.

Упрощенная функциональная схема типовой системы электроснабжения КА с блочно-модульной структурой аккумуляторных батарей и комплексом регулирующей аппаратуры, включающим в свой состав стабилизатор напряжения и автоматики СНА и зарядно-разрядные устройства ЗРУ показана на рис. 1. Число модулей подсистем условно выбрано равным пяти.

Данная система электроснабжения содержит первичный источник ПИ – солнечную фотоэлектрическую батарею, блоки аккумуляторных батарей АБ1–АБ5, подключаемые к системообразующему комплексу автоматики и стабилизации. Комплекс содержит блок стабилизации напряжения и автоматики СНА, зарядно-разрядные устройства ЗРУ1 – ЗРУ5, а также силовые и управляющие электрические цепи с коммутационной аппаратурой. Цепь питаемой полезной нагрузки представлена эквивалентным сопротивлением П [3].

В состав ЗРУ входят силовые импульсные преобразователи (ЗУ, РУ), устройство коммутации АБ УКАБ, устройство управления УУЗ и устройство контроля УК. В общем случае управление ЗРУ может выполняться двухуровневым. Высший уровень управления, реализующий энергоэффективные алгоритмы управления, включает бортовую вычислительную машину. Дублирующий уровень управления базируется на собственной автоматике ЗРУ, включая микроконтроллер ЗРУ в УУЗ.

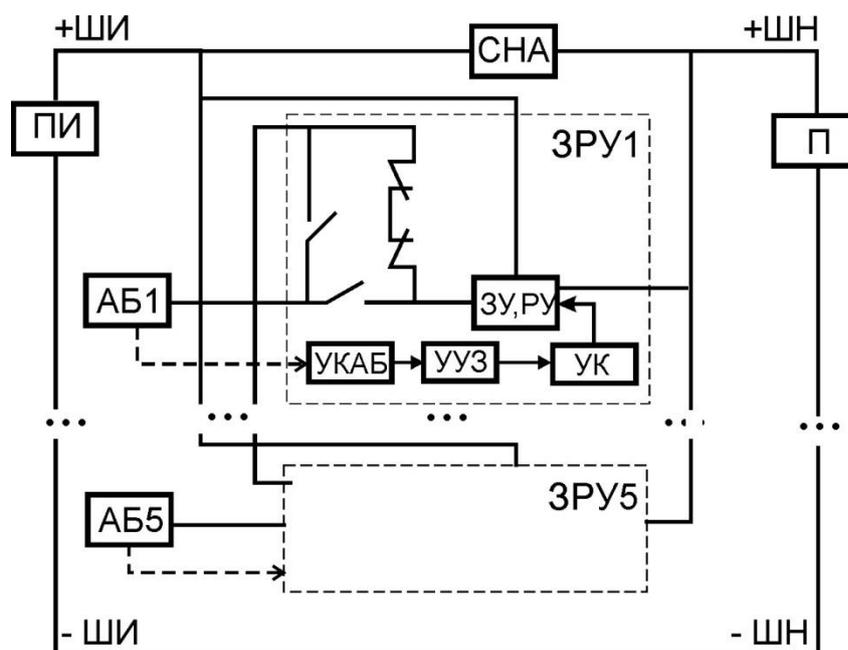


Рис. 1. Упрощенная типовая схема системы электроснабжения КА

Для сохранения близких емкостных характеристик аккумуляторов в последовательной цепи АБ и выравнивания емкостей и напряжений аккумуляторов (устранения разбаланса емкостей) необходимо периодически проводить восстановительные (формовочные) циклы, которые представляют собой практически полный разряд АБ и уравнивательный заряд [1,6]. Восстановительный цикл осуществляется в следующей последовательности:

- выполняется снижение текущей степени заряженности аккумуляторов на 95 % и более от номинального значения (в идеальном случае до 100 %);
- уменьшается напряжение формуемой АБ до 28,8–29,5 В при выходном напряжении СЭС, равном $(28,5 \pm 1)$ В;
- снижается ток разряда формуемой АБ до 1 А и ниже (в идеальном случае до нуля);
- выполняется уравнивательный заряд, в результате чего емкости аккумуляторов сближаются, и значение текущей емкости, определяемое по телеметрическим датчикам, должно возрасти до номинального.

Как известно, в процессе заряда в аккумуляторных сосудах выделяется газообразный водород, из-за этого внутреннее давление для аккумулятора НВ-70 изменяется от величины, близкой к 0 атм, до величины приблизительно 70 атм и становится пропорциональным текущей емкости [степени заряженности никель-водородного аккумулятора (НВА)].

Измерение текущей емкости осуществляется по электрическим сигналам аналоговых датчиков давления, расположенных в разных аккумуляторах, установленных в наиболее теплонепряженных внутренних областях АБ. Отключение АБ от заряда происходит по срабатыванию установленного в отдельном аккумуляторе сигнального датчика давления, настроенного на заданный уровень емкости (заряженности) батареи. При этом прерывается процесс заряда всех аккумуляторов.

Если между аккумуляторами АБ имеется разбаланс емкостей, аналоговые датчики давления фиксируют иное значение максимальной емкости, нежели уставка сигнального датчика. Как правило, большая часть аккумуляторов не успевает зарядиться до номинального значения, вследствие чего при неодинаковых фактических емкостях отдельных НВА показания их аналоговых датчиков давления (фактические максимальные значения емкости контролируе-

мых НВА) при отключении заряда оказываются ниже уровня уставки срабатывания сигнального датчика давления.

Необходимость проведения формовочного цикла с АБ выявляется при достижении разбалансом емкостей НВА некоторого критического значения, например 20 % [6].

Как правило, формовочный заряд АБ выполняют при повышенной уставке сигнального датчика давления, что позволяет заряжать формуемую АБ типа 28НВ-70 до 65–68 А-ч вместо 60–63 А-ч при стандартной уставке. При этом, как правило, коэффициент полезного действия (КПД) заряда каждого НВА в АБ уже заметно снижается, приближаясь к нулю в момент достижения данным НВА состояния полного заряда. Соответственно снижается и КПД заряда АБ в целом. Процесс заряда всех остальных НВА существенно замедляется, и их параметры выравниваются в области более высоких, чем рабочие, значений емкости и напряжения. Поскольку при достижении очередным НВА состояния полного заряда вся подводимая к нему электроэнергия переходит в тепло, увеличение тепловыделения в АБ вызывает кратковременное повышение температуры формуемой АБ на 4–7° С. Это помимо полезного эффекта выравнивания емкостей НВА обуславливает увеличение тепловых нагрузок на сепарацию всех НВА до отключения АБ от формовочного заряда. Не следует забывать, что внутренний перепад температур в корпусах НВА (электрод-корпус) может достигать 5–10° С. Увеличению интегральной тепловой нагрузки, ускоряющей износ сепарации НВА, способствует также то, что для заметного эффекта выравнивания параметров аккумуляторов рекомендуют выполнять формовочный цикл, как минимум, два раза подряд [1, 6].

В связи с изложенным представляется целесообразным разработать усовершенствованный алгоритм управления уравнивательным зарядом АБ, обеспечивающий при сохранении эффекта выравнивания достижение двух взаимосвязанных целей:

- снижения интегральных тепловых нагрузок на все аккумуляторы, особенно на восполняющие энергоемкость с задержкой по отношению к уже заряженным до заданного уровня;
- обеспечения выравнивания (сближения) емкостей и напряжений отдельных НВА на более низком уровне заряженности, чем при штатном формовочном цикле, т.е. ближе к стационарному уровню циклирования АБ.

Поставленная цель достигается управлением уставками зарядного тока, монотонно снижающимися по мере прохождения уравнительного заряда.

В системах с ограниченным или постоянно корректируемым разбалансом состояний аккумуляторов поэлементный контроль всех НВА для управления зарядом обычно не требуется, хотя и желателен. В пределах достаточно контролировать текущее состояние одного из аккумуляторов АБ, например с худшими условиями охлаждения, и использовать его данные для вычисления требуемого тока заряда [4].

Ток в начале уравнительного заряда, когда КПД НВА достаточно высок, можно принять равным штатно применяемой уставке, а далее циклически вычислять его требуемые значения по заданным ограничивающим условиям. Заметим, что ряд параметров, используемых для вычисления тока, зависит от условий и способа охлаждения АБ – лучеиспусканием, принудительной конвекцией или контактным теплоотводом (кондуктивный) [2, 5]. Для рассматриваемой системы в качестве основного характерен второй вариант теплоотвода.

Упрощенная функциональная схема управляемого зарядного устройства для реализации управления током уравнительного заряда показана на рис. 2.

Схема содержит входной и выходной сглаживающие фильтры, силовой ключ – регулирующий орган, работающий в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ), датчик тока, заряжаемую АБ и управляющий микроконтроллер МС. Его порт А сконфигурирован для приема аналоговых сигналов датчиков состояния НВА и датчика тока, а при необходимости – и штатных дискретных датчиков давления и температуры («жесткая логика»). Порт С – выход ШИМ-сигнала. Сигнал «Запрет» формируется внешней логикой, которая использует любые иные требуемые условия для прекращения заряда.

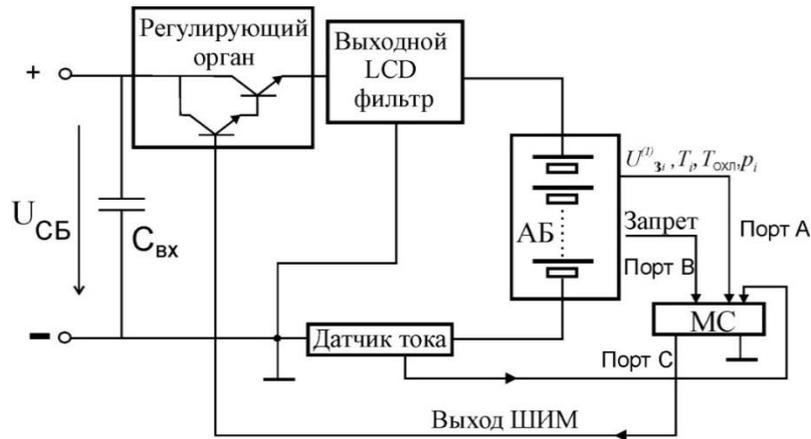


Рис. 2. Функциональная схема зарядного устройства ЗУ с датчиками состояния НВА, датчиком тока и управляющим микроконтроллером МС

Для реализации метода заряда с ограничением мощности потерь и тепловых нагрузок НВА необходимо определить значение текущей мощности тепловыделения НВА через ток и параметры состояния НВА на малом интервале процесса, на котором мощность тепловыделения одного НВА $P_T^{(1)}$, напряжение $U_3^{(1)}$ и первую производную от давления по емкости dp/dQ_3 можно считать неизменными [1]:

$$P_T^{(1)} = U_3^{(1)} I_3 - \frac{1}{a} \times \frac{dp}{dQ_3}. \tag{1}$$

где a – постоянная аккумуляторного сосуда [Центер].

Ограничим на интервале времени $t \in (t_0, t_K)$ мощность тепловыделения сверху $P_T^{(1)} \leq c_1$.

Теперь для получения текущего требуемого значения тока остается правильно определить значение c_1 – уровень ограничения мощности тепловыделения с учетом текущего состояния НВА и АБ.

В результате анализа изменения температуры НВА при моделировании системы с накоплением максимальной полезной энергии [4] установлено, что зависимость $T(t)$ во всех случаях близка к кусочно-линейной или линейной с малым наклоном $b_1 > 0$ (нарастанием), т.е. для известного интервала времени $t \in (t_0, t_K)$ справедливо выражение

$$T(t) = T(t_0) + b_1 t, \tag{2}$$

где $b_1 = \frac{T(t_K) - T(t_0)}{t_K - t_0}$

Подставляя (2) для конвективного теплообмена получаем соотношение

$$P_T^{(1)}(t) = cM b_1 - \alpha_K S_K T_{охл} + \alpha_K S_K [T(t_0) + b_1(t - t_0)],$$

- где M – масса НВА;
- c – удельная теплоемкость НВА, усредненная по его объему;
- α_K, S_K – коэффициент конвективной теплоотдачи и соответствующая ему площадь поверхности аккумулятора, участвующего в процессе теплоотдачи;
- $T_{охл}$ – температура охладителя.

Так как при этом максимальное значение мощности тепловыделения $P_T^{(1)} = c_1$ достигается при $t = t_K$, требуемый уровень ограничения мощности тепловыделения при заряде составляет

$$c_1 = cM \frac{T(t_K) - T(t_0)}{t_K - t_0} + \alpha_K S_K [T(t_K) - T_{\text{охл}}]. \quad (3)$$

Как видно, значение уровня ограничения c_1 определяется длительностью отрезка времени $t_K - t_0$, в течение которого происходит заряд неизменным током текущей уставки, параметрами НВА и АБ, текущей температурой охладителя, начальной и допускаемой (желаемой) температурами НВА в конце текущего малого интервала заряда.

В итоге для вычисления текущего значения тока заряда в зависимости от состояния НВА, используя (1), получим следующее соотношение:

$$I_3 = \frac{1}{U_3^{(1)}} \left[c_1 + \frac{1}{a} \times \frac{dp}{dQ_3} \right]. \quad (4)$$

На основе соотношений (1) – (4) разработан алгоритм вычисления зарядного тока, являющийся составной частью алгоритма управления зарядом с ограничением мощности потерь в АБ. На рис. 3 показан алгоритм определения производной от давления по емкости при заряде [3].



Рис. 3. Алгоритм вычисления dp/dQ_3 в процессе заряда

Алгоритм вычисления зарядного тока при заряде с ограничением мощности потерь показан на рис. 4. Результативность работы алгоритма зависит от числа контролируемых НВА в АБ. Контроль всех НВА позволяет динамически отслеживать степень заряженности. Для повышения точности реализации алгоритма по рис. 4 в блок 10 может быть введена дополнительная коррекция тока на каждом очередном шаге в зависимости от результатов сравнения реальной достигнутой температуры НВА $T(t_K)$ в конце предыдущего шага и ее расчетного значения. При отставании $T(t_K)$ от расчетного значения ток следующего шага увеличивается, и наоборот [3, 4].

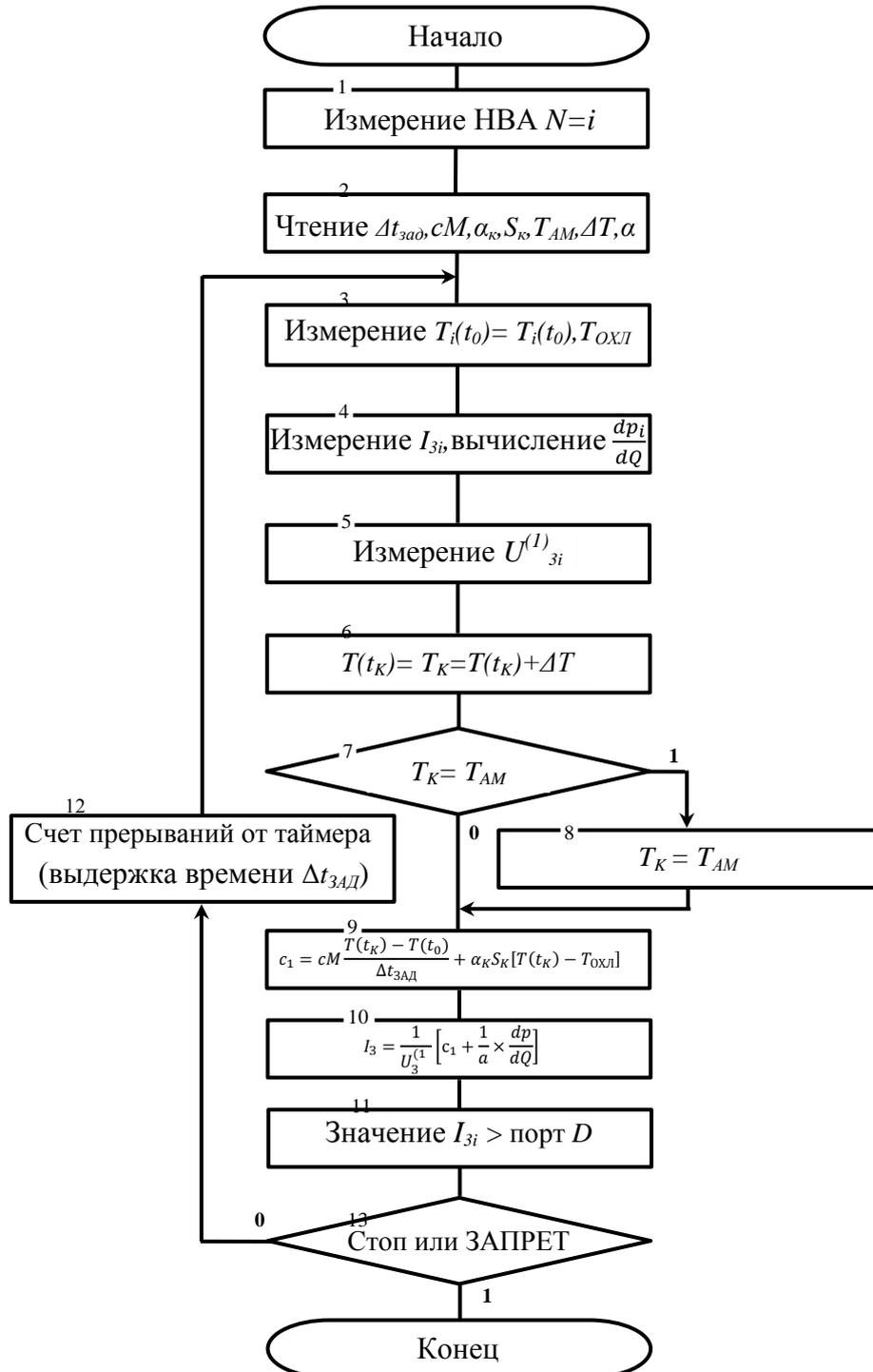


Рис. 4. Схема алгоритма уравнительного заряда с ограничением тепловых нагрузок

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, задавая максимальное значение температуры НВА и вычисляя значения убывающего тока формовочного заряда, согласно алгоритму, изображенному на рис. 4, можно реально ограничивать предельные температуры всех контролируемых НВА. Кроме того, заряд падающим током позволяет избежать получения аккумуляторами избыточной емкости [4], т.е. дает возможность выравнять их состояния на уровне, более низком, чем штатный алгоритм.

Список используемых источников

1. Космическое аппаратостроение. Научно-технические исследования и практические разработки ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» / под ред. доктора техн. наук А.Н. Кирилина. – Самара: Изд. дом «Агни», 2011.

2. Панков В.Г., Хотяинцев А.Г., Центер Б.И. Особенности эксплуатации никель-водородных аккумуляторов в буферных режимах // Исследования в области электрохимической энергетики: сб. научных трудов. – Л.: ВНИАИ, 1989. – С. 113–118.

3. Стеганов Г.Б., Чудновский Ю.А. Пошаговый метод синтеза профилей зарядных токов в модульных аккумулирующих подсистемах // Сборник докладов НТК. – Томск: «НПО Полюс», 1996. – С. 28–30.

4. Стеганов Г.Б., Чудновский Ю.А. Алгоритм управления зарядом и разрядом в аккумулирующих подсистемах КА по сигналам поэлементного контроля // Сборник научных трудов 18 НТК ОАО «НПЦ ПОЛЮС». – Томск, 2011. – С.96–102.

5. Центер Б.И., Лызлов Н.Ю. Металл-водородные электрохимические системы: теория и практика. – Л.: Химия, 1989. – 282 с.

6. Эксплуатация никель-водородных аккумуляторных батарей в составе системы электропитания низкоорбитального космического аппарата / А.Д. Сторож, Н.В. Рясной, В.И. Пушкин и др. – Томск, 2016.

В.А. Попов,
кандидат техн. наук;
В.В. Рыбаков,
кандидат техн. наук;
А.В. Ситников;
В.Н. Щельников,
кандидат техн. наук;

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В ХОДЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Опыт разработки, создания и эксплуатации стационарных систем испытаний и долговременного контроля (ИДК) технического состояния несущих конструкций стартовых сооружений показал, что они весьма эффективны, долговечны (срок службы более 20 лет), обладают большой надежностью в процессе эксплуатации и живучестью в случае аварийных ситуаций на объекте. Рассматриваемые системы являются в значительной степени дистанционными и автоматизированными, позволяют оперативно получать информацию о техническом состоянии отдельных несущих конструкций и всего сооружения в целом как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации. В публикации рассматриваются возможные пути совершенствования систем ИДК для организации мониторинга несущих конструкций стартовых сооружений на базе имеющегося опыта эксплуатации, а также применения современных приборов и методов контроля.

Ключевые слова: мониторинг, обследование, контроль, строительные конструкции, стартовые сооружения.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение надежной работы несущих конструкций стартовых сооружений (СС) является одной из главных задач службы эксплуатации стартовых комплексов (СК). Важность задач, связанных с запуском ракет-носителей (РН), и необходимость поддержания высокой готовности комплекса к работе определяют повышенные требования к степени эксплуатационной пригодности СС. Для получения достоверной информации о техническом состоянии основных несущих конструкций СС должно быть под постоянным эксплуатационным контролем. Проведение необходимых измерений на старте обеспечивается наличием комплектов аппаратуры, которые монтируются в теле железобетонных конструкций в ходе строительства и которые в совокупности образуют систему испытаний и долговременного контроля (ИДК) [1].

На СС космических комплексов ракет-носителей «Н-1», «Протон», «Энергия-Буран» космодрома Байконур в период их строительства с 1960 по 1980 годы представителями Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского при участии ряда организаций промышленности, войсковых частей и управлений МО были разработаны, смонтированы и сданы в эксплуатацию системы ИДК.

Создание системы ИДК как части единой системы измерений стартового комплекса 11П852 (объект 358-1,2) явилось первым опытом разработки и реализации штатной системы контроля эксплуатационной пригодности строительных конструкций старта, предназначенного для запуска сверхтяжелых ракет-носителей типа «Н-1».

Актуальность создания систем в 1968–1980 годах определялась тем, что особенности работы СС под воздействием пусковых нагрузок и влияние сезонных колебаний температур наружного воздуха на изменение напряженно-деформированного состояния конструкций СС в то время были недостаточно изучены на практике.

Каждая система ИДК состояла из комплектов измерений: геодезического (ГК), тензометрического (ТК), вибрационного (ВК), комплекта контроля состояния железобетонных конструкций (БК). С помощью данных систем на стартовых комплексах решались следующие задачи:

- 1) контроля и оценки технического состояния несущих конструкций как в процессе строительства, проведения регламентных работ, в период подготовки старта к очередным летно-конструкторским испытаниям (ЛКИ), так и в период запуска РН;
- 2) научно обоснованного решения по продлению гарантийных сроков эксплуатации несущих конструкций;
- 3) получения достоверной информации в случае аварийной ситуации;
- 4) обоснования решений по ремонту и реконструкции строительной части СС;
- 5) выявления причин отказов как отдельных несущих конструкций, так и агрегатов технологических систем.

Достаточно быстрое и углубленное развитие за последние 15–20 лет средств вычислительной техники, автоматики, приборов и устройств требует решения задач по совершенствованию комплектов систем ИДК, а также совмещения средств контроля и мониторинга СС в условиях их длительной эксплуатации.

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Комплект геодезического контроля обеспечивает измерение осадок, кренов, общих и местных деформаций сооружений и их конструктивных элементов, возникающих в результате воздействия эксплуатационных нагрузок, внешних сезонных температурных изменений наружного воздуха и нагрузок при аварийных взрывах (АВ). В состав комплекта входят опорная геодезическая сеть: глубинные и рабочие реперы, закладные элементы в виде геодезических марок (рис. 1) серийные высокоточные нивелиры и теодолиты. Точность измерений составляет ± 1 мм. Максимальные осадки S_{cp} стартового сооружения №1 за 13 лет с учетом взрыва РН «Н-1» в 1969 году составили 30,3 мм (рис. 2).

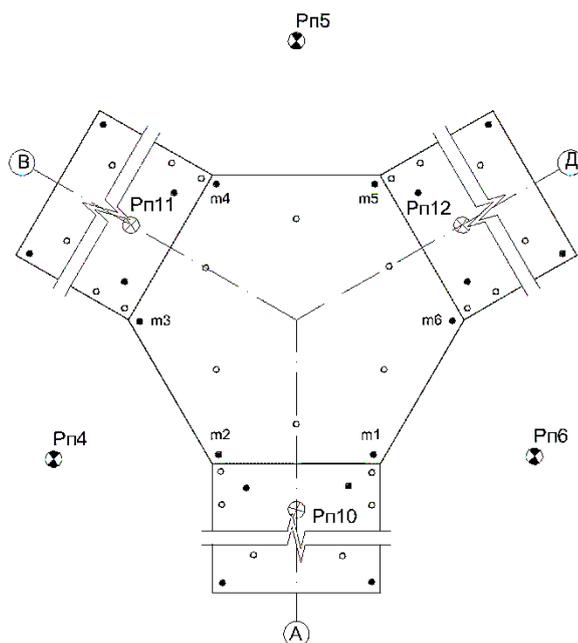


Рис. 1. Пример размещения элементов геодезического контроля на СС

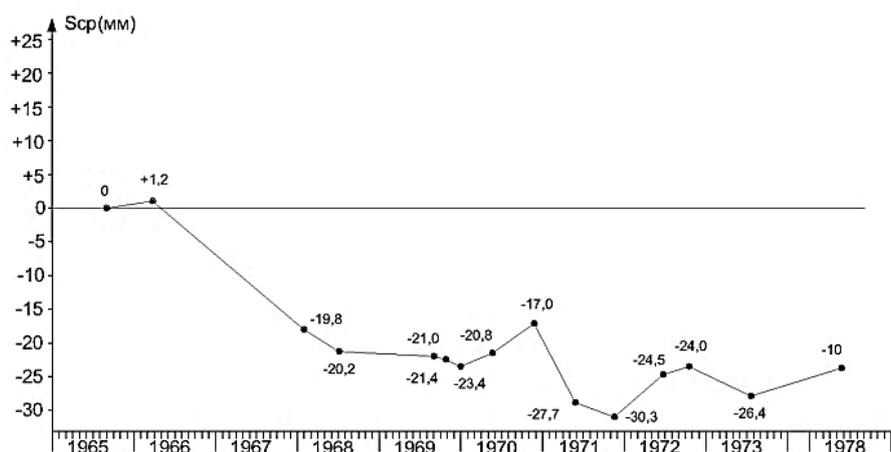


Рис. 2. График осадок стартового сооружения №1 за 13 лет

Многолетняя эксплуатация ГК и анализ геодезических измерений показали, что комплект обладает высокой точностью и надежностью, устойчив при воздействии аварийных нагрузок на СС, что даёт возможность проведения мониторинга и осуществления прогноза технического состояния несущих конструкций на необходимый промежуток времени. В дополнение к существующему комплексу геодезического контроля в академии были продолжены исследования по применению фотограмметрии и разработке автоматизированной системы гидродинамического нивелирования. Несмотря на достаточно глубокую проработку, эти виды мониторинга не нашли своего применения на СС из-за весьма значительных погрешностей в измерениях, обусловленных спецификой эксплуатации самих СС.

В настоящее время в академии изучается возможность применения мониторинга планово-высотного положения объекта на основе использования реверсных приемников ГЛОНАСС/GPS, устанавливаемых на внешних контролируемых точках сооружения, а также сети станций измерения, управления и контроля, установленных вне границ объекта. Как показали результаты исследований в смежных областях (мосты, эстакады, высотные сооружения), относительная точность измерений находится пока в пределах ± 3 мм [2, 3].

Метод планово-высотного контроля стартовых сооружений на основе использования приёмников ГЛОНАСС нуждается в дополнительных специальных исследованиях в связи с воздействием весьма сложной газодинамической нагрузки на элементы сооружения (тепловые, акустические, ударные, нестационарные и т.п.) в период проведения ЛКИ. Такие воздействия могут резко изменить точность результатов измерений либо существенно их исказить.

Использование спутниковых технологий является оптимальным перспективным дополнением традиционного геодезического контроля за перемещениями специальных сооружений. Данный метод наблюдений даёт возможность осуществлять мониторинг за положением фиксированных точек строительных конструкций в реальном времени и получать детальное описание эксплуатационных характеристик сооружения в течение длительного периода наблюдений.

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТА ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Средства тензометрического контроля обеспечивают контроль усилий в арматуре и напряжений в грунтовом основании сооружений. Решение задачи по оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций СС обеспечивается установкой в соответствующих местах сооружения арматурных и грунтовых динамометров (рис. 3).

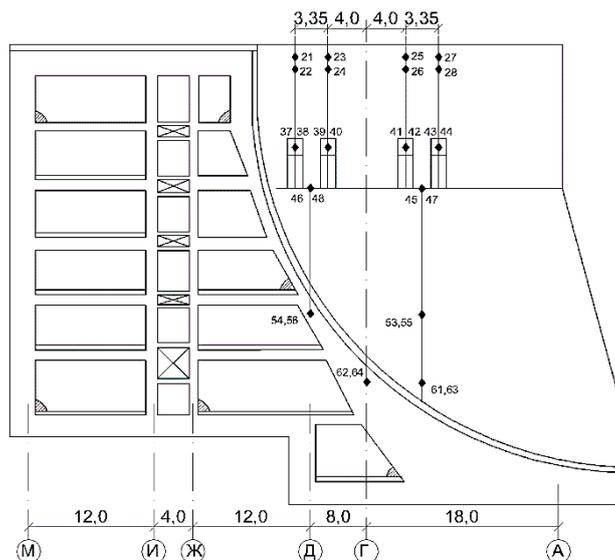


Рис. 3. Схема установки тензометрических датчиков в несущих конструкциях универсального космического стенда-старта

Анализ результатов измерений показывает, что сооружение в целом работает как жесткий штамп на винклеровском основании. Наиболее напряженными являются участки фундаментной плиты в газоходе, где плита работает на местный изгиб как опертая по контуру и нагруженная снизу отпором грунта. Растягивающие напряжения в верхней арматуре достигают 945 кг/см^2 . Напряжения в арматуре стен газохода не превышают 700 кг/см^2 . Колебания напряжений, вызванные работой арматуры в конструкциях стен при сезонных колебаниях температуры, не превосходят 150 кг/см^2 . При накоплении результатов измерений не менее чем за 2–3 года и выявлении тенденции напряженно-деформированного состояния несущих конструкций СС во времени возможна организация последующего мониторинга с диагностикой их технического состояния.

В целях проведения оперативного контроля измерений, сбора и обработки информации на стадии эксплуатации на стартовых сооружениях устанавливалась автоматизированная автономная стационарная станция типа ЛХ 4000М [4].

Наиболее приемлемыми с точки зрения надежности, долговечности, точности получаемых результатов измерений и других требований, предъявляемых к аппаратуре, в том числе и организации мониторинга технического состояния несущих конструкций стартовых сооружений, являются датчики струнного типа, такие как: датчик деформации в арматуре, датчик давления в грунте, струнный датчик перемещения и раскрытия трещин.

Струнный датчик деформации в арматуре. Основным конструктивным элементом таких датчиков является струна. В результате деформации строительной конструкции струна изменяет свою длину, что ведет к изменению в ней напряжения и, соответственно, частоты колебаний струны, что может быть определено в виде следующего выражения:

$$\Delta L = \frac{FL}{ES} = \frac{\sigma L}{E}, \quad (1)$$

где σ – напряжения в струне, кг/см^2 ;

ΔL – удлинение струны, см;

E – модуль упругости струны, кг/см^2 ;

L – длина струны, см;

F – усилие, прикладываемое к струне, кг;

S – площадь поперечного сечения струны, см^2 .

При изменении длины струны изменяется напряжение в ней и частота ее колебаний. Длина струны и частота ее колебаний связаны между собой зависимостью

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}, \quad (2)$$

где f – частота колебаний струны, Гц;

ρ – плотность материала струны, кг/см³.

Датчик устанавливается в тело конструкции перед бетонированием с закреплением его в проектном положении, одновременно с помощью струнных датчиков может осуществляться и измерение температур строительной конструкции в месте установки датчика. Срок эксплуатации датчика более 20 лет.

Волоконно-оптический датчик. За последние годы получили развитие системы мониторинга строительных конструкций, созданные на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД), которые при соответствующих доработках по восприятию особенностей пусковых нагрузок могут быть применены и на стартовых сооружениях [3]. Комплект измерений, оснащенный ВОД, позволяет решать следующие задачи:

- непрерывно контролировать деформации несущих конструкций;
- получать информацию об изменении давления на подошве фундаментной плиты;
- обеспечивать съем данных в автоматическом дистанционном режиме;
- обеспечивать высокую точность измерений независимо от электрических и магнитных помех.

Учитывая возможности современной вычислительной техники и необходимость детально регистрировать ход контролируемых параметров, представляется целесообразным провести испытания и апробировать на СС датчики непрерывного действия, в том числе автоколебательных электромеханических систем непрерывного действия [5].

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТА АППАРАТУРЫ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Комплект аппаратуры вибрационных измерений предназначен для контроля параметров вибраций стартовых сооружений и оценки пространственной устойчивости основных несущих конструкций в период воздействия на них газодинамических нагрузок.

Задачами вибрационного контроля являются:

- определение спектра частот и амплитуд колебаний конструкций;
- определение величин перегрузок в различных частях сооружения и изменение их во времени и в пространстве.

Диапазон измерений параметров по частотам 1–300 Гц, по ускорениям до 1g.

Комплект состоит из акселерометров, согласующих устройств, усилителей, кабельных сетей, вторичной аппаратуры регистрации и обработки.

В качестве примера на рис. 4 представлены схемы установки акселерометров вибрационного контроля на строительных конструкциях стартовых сооружений № 1, 2 объекта 358, предназначенных для запуска РН «Энергия – Буран».

Наиболее существенными нагрузками, действующими на сооружения, являются пульсации давлений газодинамических потоков, омывающих несущие конструкции. Как показали натурные испытания, именно эти пульсации и являются причиной вибрационных перегрузок, воздействующих как на несущие строительные конструкции, так и на оборудование, установленное в помещениях старта.

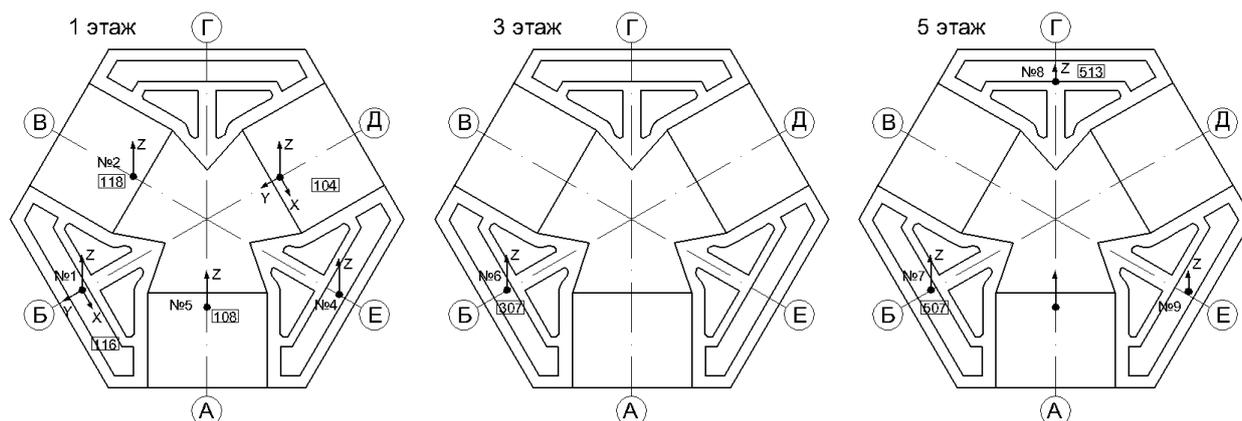


Рис. 4. Пример размещения преобразователей вибрационного контроля на несущих конструкциях стартовых сооружений

Нагрузка рассматриваемого типа и реализации вибрационных перегрузок имеют случайную природу и должны задаваться при расчете конструкций вероятностными характеристиками поля, такими как корреляционные функции, функции спектральной плотности и их частными значениями – дисперсиями, среднеквадратическими значениями, взаимными функциями корреляции, радиусами корреляции. Необходимым условием успешного мониторинга и диагностики технического состояния строительных конструкций, работающих в динамическом режиме, является согласование вибрационных и газодинамических измерений на этапах планирования, проведения измерений, обработки и анализа их результатов [6]. Как показали ЛКИ четырех изделий РН «Н-1», максимум энергии спектральной плотности частот вертикальных колебаний первого этажа находится в диапазоне 90–100 Гц с максимальным ускорением 0,3g, а в горизонтальном направлении – в диапазоне 40–50 Гц с максимальным ускорением 0,15g.

Опыт проведения ЛКИ на стартовых сооружениях, а также анализ нормативной и технической литературы, показывают, что на сегодняшний день для измерения вибраций в условиях пусковых газодинамических и акустических (180 дБ) нагрузок со спектром частот 10–1000 Гц и полей пульсаций нестационарных газодинамических давлений широкое применение нашли акселерометры различных серий и марок. Наибольшее распространение в системе ИДК нашли акселерометры низкочастотные сейсмические серии АНС [7]. Применяемые акселерометры обладают рядом преимуществ: широким диапазоном частот, достаточной чувствительностью в амплитудном значении, большой вибрационной и ударной устойчивостью, малой чувствительностью к магнитным полям и акустическому давлению, простой конструкцией и высокой надежностью.

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Мониторинг эксплуатационной пригодности несущих конструкций СС с помощью средств неразрушающих методов контроля НМК может выполняться ультразвуковыми, тепловыми и магнитными методами в режиме ручных или полуавтоматических измерений. Режим ручных измерений является достаточно трудоемким процессом и сопряжен с большими затратами времени. В связи с этим применение данного вида контроля должно быть достаточно обосновано и минимизировано по своему объему.

С целью повышения производительности работ по обследованию с применением НМК целесообразно в составе комплекта иметь автоматизированные средства измерения и обработки результатов контроля в виде подвижной комплексной лаборатории, оснащенной всеми необходимыми приборами, устройствами и современными средствами вычислительной техники.

Опыт эксплуатации СС показывает, что существует вероятность нарушения штатной эксплуатации комплекса с возникновением аварийных ситуаций, приводящих в ряде случаев к аварийным взрывам заправленной ракеты-носителя. Подобные АВ причиняют значительный материальный ущерб, нарушают технологический процесс и часто приводят к человеческим жертвам. В связи с этим весьма актуальна проблема определения возможных источников и последствий АВ. Одним из способов решения этой проблемы может являться организация мониторинга и создание нового комплекта аппаратуры для контроля характеристик и последствий АВ.

При контроле состояния сооружения после АВ основными задачами являются:

- оценка основных параметров взрыва, воздействующего на строительные конструкции;
- выяснение причин повреждения конструкций при взрыве и после него;
- оценка влияния аварийных нагрузок и воздействий на строительные конструкции;
- разработка мероприятий по ликвидации последствий взрыва;
- разработка исходных данных для технико-экономического анализа вариантов проектных решений восстановления разрушенных частей сооружений.

В общем случае рекомендован следующий состав измерений кинематических характеристик:

- максимальных значений ускорений и перемещений сооружения в целом и его элементов;
- максимальных значений взаимных перемещений элементов сооружения.

Аппаратура комплекта АВ должна обеспечивать измерение параметров воздушной ударной волны (ВУВ), ускорения и перемещения стартового сооружения.

Для измерения давлений как функций времени в ВУВ может быть применен комплект аппаратуры, состоящий из автономных регистраторов импульсных напряжений и измерителей скорости ударной волны. В комплект АВ должны быть включены простейшие приборы для измерения максимальных значений давлений как в дальней, так и в ближней зоне. Наиболее приемлемыми в этом плане являются преобразователи крешерного типа, в которых используется информация об остаточных деформациях их чувствительных элементов. Несмотря на малую точность и ограниченный объем информации, такие приборы обладают рядом существенных преимуществ: они просты в монтаже, дешевы, надежны в эксплуатации, их установка возможна практически в любом месте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученный опыт создания систем ИДК на СС космодрома Байконур свидетельствует о том, что только постоянный мониторинг состояния строительных конструкций с использованием аналогичных систем дает возможность получить достоверную информацию об их состоянии и особенностях работы при воздействии на конструкции различных нагрузок. Это позволяет обеспечивать надежную эксплуатацию СС, а при необходимости принимать научно-обоснованные решения по ремонту, реконструкции и продлению гарантийных сроков их эксплуатации. В связи с этим в целях повышения надежности, оперативности и информативности систем, а также в целях создания более совершенных систем мониторинга на других объектах целесообразно создавать системы мониторинга с учетом условий эксплуатации СС, основанные на новых физических принципах и последних достижениях науки и техники.

Список используемых источников

1. Пособие по проектированию, монтажу и эксплуатации систем испытаний и долговременного контроля несущих конструкций стартовых сооружений. – СПб., 2001. – 241 с.
2. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Госстандарт России, 2010. – 68 с.
3. МРДС 02-08. Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных. – М.: Росстрой, 2008. – 39 с.
4. Устройство регистрации статических и динамических измерений: техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: НИС института «Гидропроект» имени С. Я. Жука, 1989. – 28 с.
5. Эткин Л. Г. Виброчастотные датчики // Теория и практика. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
6. Руководство по методике расчета несущих конструкций стартового сооружения. – МО СССР 1978. – 144 с.
7. ГОСТ 18955-73. Акселерометры низкочастотные. Термины и определения. – М.: Государственный стандарт СССР, 1973. – 47 с.

А.И. Птушкин,
кандидат техн. наук, профессор;
Д.В. Решетников,
кандидат техн. наук, доцент;
В.В. Тришункин,
кандидат экономических наук

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОНВЕРГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В публикации с позиций постнеклассической науки рассмотрены целесообразность и возможность применения совокупности конвергентных технологий в составе информационно-когнитивно-социальных технологий для решения задач управления жизненным циклом критически важных для национальной безопасности объектов Российской Федерации. Раскрываются методологические основы применения технических и социальных киберфизических систем для обеспечения внедрения конвергентных технологий в систему управления жизненным циклом. Предложена теоретико-множественная модель этой системы, на основе которой дается логиколлингвистическое описание возникающих при ее функционировании конфликтных ситуаций и алгоритмов их разрешения.

Ключевые слова: постнеклассическая наука, конвергентные технологии, жизненный цикл, система управления, критически важный объект, киберфизическая система, социотехническая система.

ВВЕДЕНИЕ

В историческом развитии науки выделяют три перекрывающиеся стадии: классическую (с XVII в. до конца XIX в.), неклассическую (с конца XIX в. до конца XX в.) и постнеклассическую (с конца XX в. по настоящее время) [1].

Отличительными признаками классической науки были абстрагирование от всего, что не относится к познаваемому объекту и механистический подход: мир устроен как часы, которые однажды завел Бог, а дальше они идут по законам механики [2].

На стадии неклассической науки исследователь стал заниматься изучением не только объекта, но и средств его познания. Характерными для этой стадии развития науки стали признание субъективизма знаний, относительности истинности, существования принципа эмерджентности систем. Толчком к этому послужила разработка релятивистской и квантовой теорий.

Современная (постнеклассическая) стадия развития науки характеризуется междисциплинарным эволюционным подходом к изучению объекта познания, соотнесенным не только с особенностями средств и действий субъекта, но и с присущими ему (и обществу) ценностями. Если классическая наука стремилась ответить на вопрос «как», неклассическая – на вопрос «почему», то постнеклассическая, пытаясь объяснить функционирование сложных саморазвивающихся систем, ставит вопрос не только о причинах, но и вопрос о целесообразности – «зачем» [3].

Наиболее яркими примерами междисциплинарных направлений науки являются синергетика – наука о самоорганизации и конвергентные технологии – технологии совместного использования, дающие синергетический эффект. Применение конвергентных технологий создает возможность появления прорывных технологических решений в одной или одновременно в нескольких областях. Например, взаимно эффективным оказалось совместное применение технологий генной инженерии и робототехники, а также инфо- и нанотехнологий [4]. Наибольшее распространение получили следующие сочетания конвергентных технологий:

НБИК (нано, био, инфо, когно), НБИКС (нано, био, инфо, когно, социо) [5, 6] и самостоятельно применяющаяся составная часть НБИКС – ИКС (инфо, когно, социо) технологии (рис. 1).

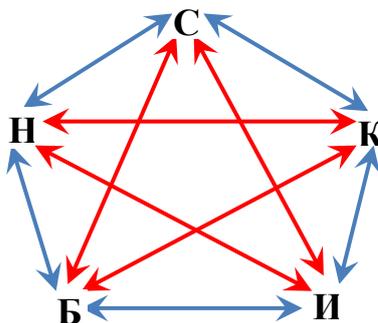


Рис. 1. Конвергентные технологии:

*Н – нанотехнологии; Б – биотехнологии; И – информационные технологии;
К – когнитивные технологии; С – социальные технологии*

Использованию конвергентных технологий, в частности ИКС-технологий, уделяется большое внимание в проектах DAPRA (Defense Advance Research Project Agency) МО США. Например, разрабатываются индивидуальные и коллективные когнитивные системы и интерфейсы, повышающие эффективность взаимодействия между командиром и подчиненными непосредственно на поле боя, и интегральные когнитивные системы, обеспечивающие поддержку принятия решений не только военному командованию, но и разработчикам военной техники [7].

Рассмотрим возможности применения конвергентных ИКС-технологий для управления жизненным циклом (ЖЦ) критически важных для национальной безопасности объектов (КВО) Российской Федерации.

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИКС-ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Система управления ЖЦ КВО представляет собой распределенную социотехническую систему и характеризуется многоаспектностью происходящих в ней процессов и их взаимосвязанностью, динамичностью и высокой степенью неопределенности, а также отсутствием достаточной количественной информации о динамике их протекания, что обуславливает необходимость совместного использования качественных и количественных методов анализа этой системы.

Для мониторинга ситуаций, возникающих в процессе ЖЦ КВО, и оперативного принятия управленческих решений по его результатам создаются ситуационные центры (СЦ) или ситуационно-кризисные центры, обеспечивающие интеграцию и эффективное использование организационных и информационно-аналитических ресурсов. Вместе с тем технология организации функционирования и информационного взаимодействия сети действующих СЦ имеет ряд слабых сторон, среди которых можно отметить следующие:

- поддержка принятия решений осуществляется преимущественно на основе ретроспективной информации;
- используемые информационные системы построены на основе централизованной архитектуры;
- из-за наличия жестких вертикальных связей отсутствует возможность децентрализованной поддержки принятия решений;

– отсутствует целостная информационно-аналитическая среда для комплексного решения задач управления, наделенная потенциалом саморазвития и самоорганизации.

Названные недостатки не позволяют оперативно решать задачи, направленные на предотвращение неблагоприятных ситуаций в процессе ЖЦ КВО.

Получение эффекта, адекватного возникающим задачам управления ЖЦ КВО, стало возможным благодаря развитию нового перспективного направления в области создания технологий построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений – ИКС-технологий.

ИКС-технологии в управлении – это технологии достижения целей субъектов управления социотехническими системами, опирающиеся не только на имеющиеся в их распоряжении начальные знания, но и на новые знания, полученные ими в результате когнитивного анализа проблемной ситуации. Применение этих технологий в управлении осуществляется в рамках развивающегося научного направления в области решения задач анализа состояния, моделирования функционирования и управления развитием названных систем [8]. Именно к таким системам относятся КВО. Объектами управления ЖЦ КВО являются как их сооружения и оборудование, так и люди, обеспечивающие их создание и эксплуатацию, а также отношения между ними, в том числе социально-экономические.

Отличительными особенностями процесса управления, основанного на применении ИКС-технологий, являются:

– полноценное информационное обеспечение всех стейкхолдеров (заинтересованных лиц) данными, информацией и знаниями о состоянии персонала и технической составляющей системы, а также процессах, в ней протекающих, с использованием для этой цели умных сенсоров, распределенных баз данных (БД) и знаний (БЗ) и средств локальной и глобальной связи;

– двухэтапный процесс решения практических задач, включающий в себя на первом этапе формализацию представлений (знаний) экспертов о системе и/или ситуации, о целях, интересах и мотивациях субъектов, вовлеченных в этот процесс, и формирование концептуальных моделей, на основе которых на втором этапе создаются полимодельные комплексы, входящие в состав средств поддержки принятия решений;

– использование сетецентрического подхода [9] к формированию распределенной среды виртуальных СЦ, реализующих виртуальные процессы управления системой (ситуацией) средствами мультиагентных технологий [10], что обеспечивает единый регламент взаимодействия и децентрализацию функций управления и принятия решений.

В настоящее время технический и аналитический инструментарий четвертой промышленной революции открыл широкие возможности для применения ИКС-технологий в различных областях, в том числе и для создания новых поколений систем управления ЖЦ КВО.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

В настоящее время при реализации управления ЖЦ КВО, в том числе комплексов ВТ, используется концепция управления ЖЦ с обратной связью (*Closed Loop Lifecycle Management – CL2M*) [11, 12], обеспечивающая замыкание информационных потоков со стадии их эксплуатации на разработчиков и изготовителей. При этом получение первичной информации о состоянии КВО и персонала, его обслуживающего, получается с помощью как внешних средств контроля, так и с помощью миниатюрных умных встроенных датчиков их состояния. Типовое устройство таких датчиков приведено на рис. 2.

Кроме чувствительного элемента (сенсора) такой датчик содержит блок обработки информации (вычислительное устройство с памятью и необходимым специальным программным обеспечением), блок передачи данных и блок питания.

Такие датчики позволят обеспечить в реальном времени мониторинг всей цепи поставок оборудования к местам эксплуатации, а в процессе эксплуатации получать ответы на вопросы о том, когда оно будет нуждаться в техническом обслуживании или ремонте, кто его должен выполнить и имеются ли для этого запасные части и необходимые руководства. Это приведет к существенному снижению простоев оборудования.



Рис.2. Устройство умного датчика

Оснащение умными датчиками персонала и средств обслуживания обеспечит возможность определения в реальном времени местоположения каждого участника выполняемых работ, выявления нарушений прав доступа или совершения несанкционированных действий, а также возможность контроля своевременности и полноты возвращения инструмента и принадлежностей после окончания работ, что будет способствовать обеспечению безопасности эксплуатации оборудования.

На рис. 3 показана инфокоммуникационная модель замкнутой системы управления ЖЦ КВО на стадии его эксплуатации в контексте концепции CL2M.

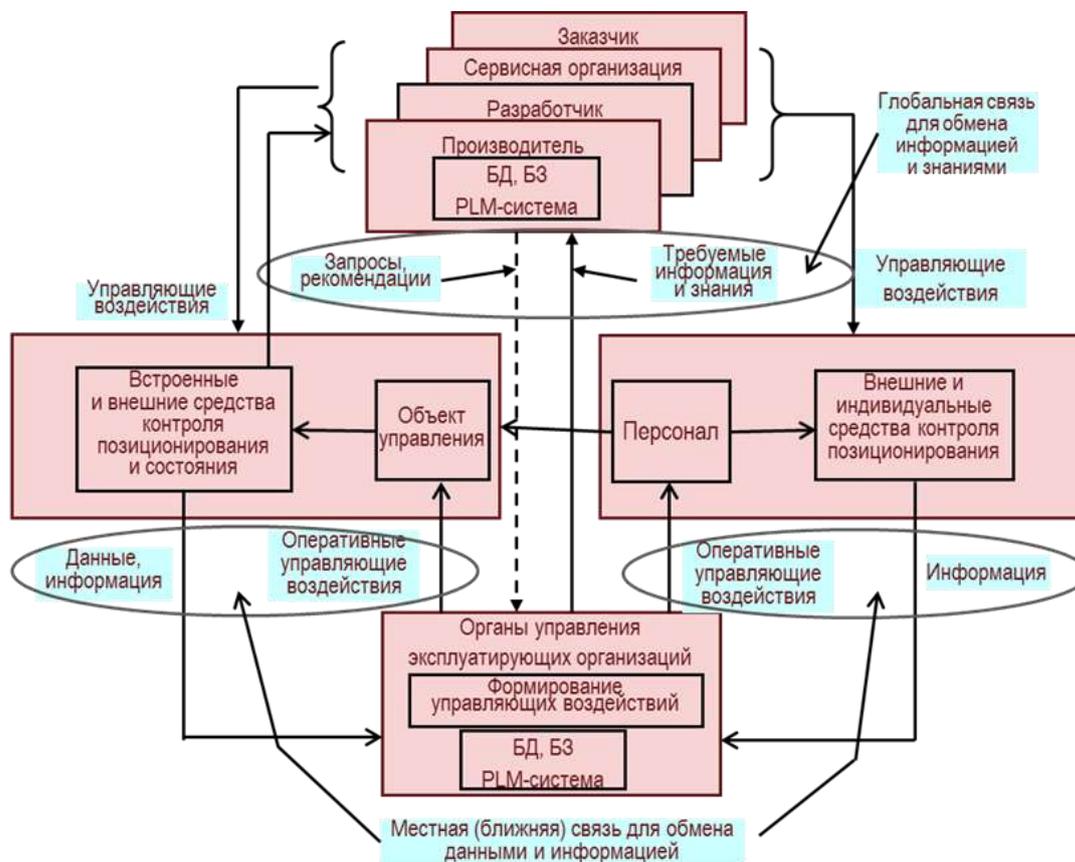


Рис. 3. Инфокоммуникационная модель замкнутой системы управления ЖЦ КВО на стадии его эксплуатации в контексте концепции CL2M

Дальнейшим развитием концепции *CL2M* стали довольно многочисленные концептуальные разработки, связанные с внедрением в различные области человеческой деятельности высоких технологий на Интернет-платформе, которые позволят оборудованию и персоналу социотехнических систем стать активными системными компонентами, управляющими протекающими в них процессами. Они будут включать в себя технические киберфизические системы (КФС) и социальные КФС (СКФС), связывающие виртуальное пространство Интернета с реальным физическим миром [13].

КФС – это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, которые представляют собой единое целое. В них обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами. Область действия КФС распространяется на робототехнику, транспорт, энергетику, управление промышленными процессами, крупными инфраструктурами и КВО.

От существующих мехатронных систем КФС будут отличаться наличием интеллекта и будут способны:

- взаимодействовать со своим окружением;
- планировать и адаптировать собственное поведение согласно окружающим условиям;
- учиться новым моделям и линиям поведения и быть самооптимизирующимися.

Ключевым в КФС является модель, используемая в системе управления ЖЦ. От того, как она соотносится с реальностью, зависит работоспособность КФС. Разработка унифицированных языков описания разнородных объектов для построения моделей их функционирования, а также методов оценки качества этих моделей является чрезвычайно актуальной научной задачей.

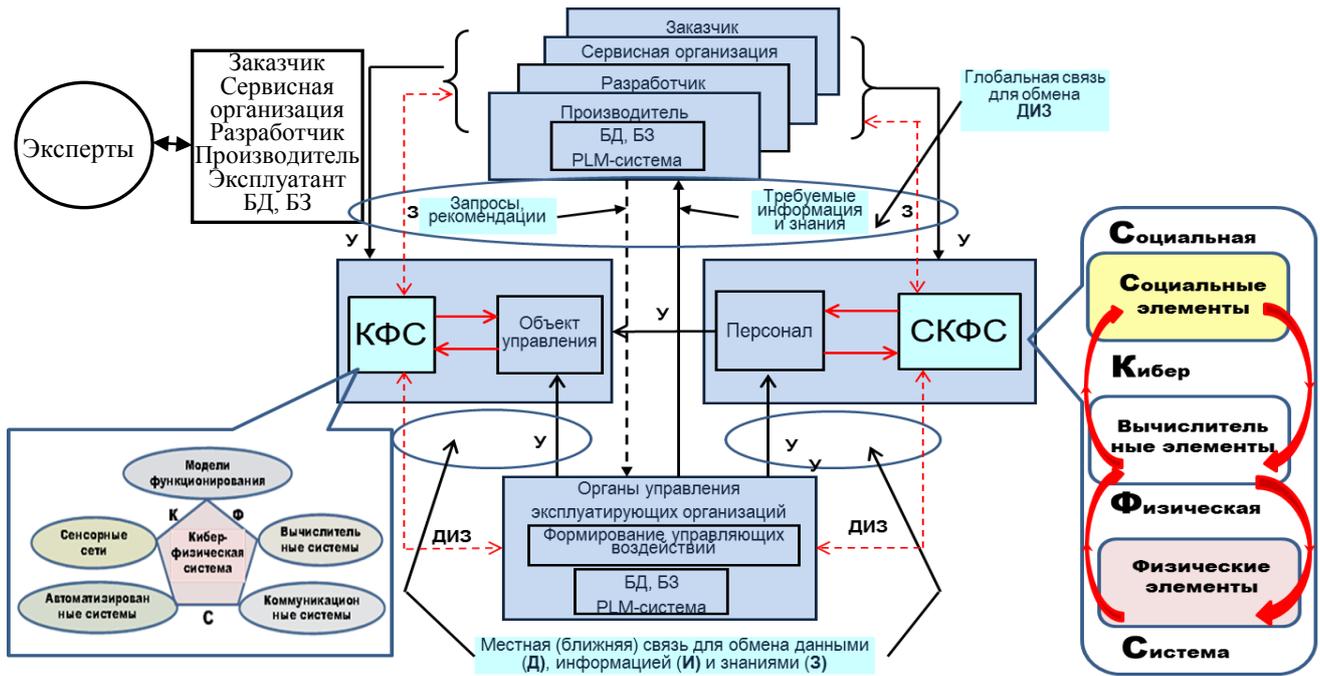
Для того чтобы обеспечить взаимодействие большого количества элементов, входящих в КФС, а также КФС между собой и их окружением, необходимо иметь возможность присвоения каждому из них индивидуальной метки (адреса). Сделать это в настоящее время можно только с помощью Интернета. Например, использование протокола IPv6 для устройств, управляемых через радиосеть, позволит присвоить адреса 340 ундециллионам (10^{39}) объектов, 240 из которых может быть адресовано к каждому атому на поверхности Земли и еще 100 останется в резерве.

На рис. 4 изображена инфокоммуникационная модель замкнутой системы управления ЖЦ КВО на стадии его эксплуатации, в состав которой входят КФС и СКФС.

В отличие от модели, изображенной на рис. 3, в этой модели появились два новых контура самоуправления: «КФС – технический объект управления» и «СКФС – персонал» и новые информационные контуры «КФС – стейкхолдеры» и «СКФС – стейкхолдеры», а также контуры взаимодействия стейкхолдеров, БД и БЗ с экспертами. Наличие этих контуров позволит придать системе управления ЖЦ КВО новые возможности, заключающиеся в следующем:

- способности людей к обмену информацией через Интернет вещей и услуг и использованию информации, полученной в результате обмена (интероперабельность);
- возможности КФС и СКФС внутри системы самостоятельно принимать решения;
- возможности сбора, анализа и представления результатов анализа в реальном времени;
- возможности создания виртуальной копии процессов функционирования системы управления ЖЦ КВО, а также непосредственно КВО, и их моделирования на основе данных мониторинга;
- способности системы быстро приспосабливаться к изменяющимся требованиям.

Рассмотренная инфокоммуникационная инфраструктура в полной мере обеспечит применение когнитивных технологий для структуризации, анализа и принятия управленческих решений в сложных и неопределенных ситуациях, при отсутствии количественной и(или) статистической информации о происходящих в таких ситуациях процессах. Это позволит действовать на опережение и не доводить потенциально опасные ситуации до угрожающего или конфликтного состояния, а в случае их возникновения принимать рациональные решения.



ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЦ ОТС НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ (в контексте концепции «Индустрия 4.0»)

Рис. 4. Инфокоммуникационная модель замкнутой системы управления ЖЦ КВО

Возникновение конфликтных ситуаций при управлении ЖЦ КВО неизбежно, так как этот процесс связан с взаимодействием большого количества заинтересованных сторон, интересы которых могут не совпадать. В качестве аналитического инструментария разрешения конфликтов в процессе управления ЖЦ КВО предлагаются логико-лингвистические модели, построение которых осуществляется с использованием теоретико-множественной модели системы управления ЖЦ.

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрим теоретико-множественную модель системы управления ЖЦ КВО (рис. 5), которая позволит перейти к формальному описанию конфликтных ситуаций между участниками ЖЦ и механизма их разрешения. Эта модель с помощью графа отношений отражает взаимодействие участников ЖЦ между собой, КВО, его динамической моделью, процессами ЖЦ, технологическим инструментарием (информационно-когнитивными технологиями управления) и документационным обеспечением.

Вершины графа изображают следующие множества:

- $U = \{u_i\}, i = \overline{1, n_U}$ – множество участников ЖЦ (заказчиков, разработчиков, изготовителей, эксплуатантов, снабженцев, перевозчиков и др.);
- $S = \{s_i\}, i = \overline{1, n_S}$ – множество состояний изделия на стадиях обоснования разработки, разработки, производства, эксплуатации, утилизации;
- $P = \{p_i\}, i = \overline{1, n_P}$ – множество процессов ЖЦ (маркетинговых исследований, разработки требований заказчиком, концептуального проектирования, детального проектирования, прототипирования и испытаний, производства, управления запасами, эксплуатации и технического обслуживания, повторных циклов использования и др.);
- $X = \{x_i\}, i = \overline{1, n_X}$ – множество текущих характеристик изделия;

состоянии создаваемого изделия x_i , но не имеет доступа к ней. Такая ситуация формально может быть описана логической формулой

$$c_1: (u_j \text{ требует } x_i) \& (u_j \neg \text{ доступ } x_i), \quad (1)$$

где $\&$, \neg – символы соответственно логической операции «И», и логического отрицания. Разрешение этой конфликтной ситуации возможно, если участник ЖЦ u_j связан совместной работой с другим участником ЖЦ, например, u_{j+3} , который имеет доступ к характеристике изделия x_i . Формальная запись этого решения имеет вид

$$(u_j \text{ доступ } u_{j+3}) \& (u_{j+3} \text{ доступ } x_i) \rightarrow u_j \text{ доступ } x_i, \quad (2)$$

где \rightarrow символ бинарной логической связки «если...то» (импликации).

Теперь предположим, что участник ЖЦ изделия u_j хочет изменить некоторую характеристику изделия x_i (например, заменить материал, из которого оно изготавливается, на более дешевый). Однако такая замена может повлиять на характеристику изделия x_{i+2} , за которую отвечает другой участник ЖЦ u_{j+2} , и он против этого изменения. Эта ситуация описывается формулой

$$c_2: (u_j \text{ изменяет } x_i) \rightarrow (x_i \text{ изменяет } x_{i+2}), (u_{j+2} \neg \text{ согласовывает } x_{i+2}). \quad (3)$$

Ресурсом разрешения этого конфликта является возможность взаимодействия участников ЖЦ u_j и u_{j+2} , т.е. наличие отношения

$$(u_j R u_{j+2}, r_{ij} = r_{ji} = 1).$$

Формальное описание разрешения этого конфликта имеет вид

$$(u_j \text{ взаимодействует } u_{j+2}) \rightarrow (u_j \text{ удовлетворен } x_i) \& (u_{j+2} \text{ удовлетворен } x_{i+2}). \quad (4)$$

Такой подход описания конфликтной ситуации может быть применен и в случаях взаимодействия участников ЖЦ, когда один из них обладает информацией, часть которой является закрытой для другого участника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отсутствие современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры и целостной информационно-аналитической среды для комплексного решения задач управления ЖЦ КВО снижают оперативность решения задач по предотвращению неблагоприятных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе ЖЦ, а также выходу из них в случае возникновения.

Предложенная инфокоммуникационная инфраструктура, базирующаяся на применении КФС и СКФС, в полной мере обеспечит применение когнитивных технологий для структуризации, анализа и принятия управленческих решений в сложных и неопределенных ситуациях функционирования системы управления ЖЦ КВО и позволит сделать ее проактивной.

Включение в состав информационно-аналитической среды когнитивной составляющей позволит постоянно получать новые формализованные знания об объектах управления, которыми являются как сами КВО, так и люди, обеспечивающие их создание и эксплуатацию, и отношения между ними. На основе этих знаний может быть выполнено когнитивное моделирование, ориентированное на анализ и поддержку принятия решений в сложных ситуациях, характеризующихся многоаспектностью происходящих в них процессов и их взаимосвязанностью, динамичностью и высокой степенью неопределенности, отсутствием достаточной количественной информации о динамике протекающих в них процессов.

Предложенная теоретико-множественная модель системы управления ЖЦ КВО может быть использована при организации ситуационного управления конфликтными ситуациями, возникающими в процессе ее функционирования.

Список используемых источников

1. *Степин В.С., Горохов В. Г., Розов М.А.* Философия науки и техники: учебное пособие. – М.: Гардарики, 1999. – 400 с.
2. *Степин В.С.* Саморазвивающиеся системы и философия синергетики // Материалы Международной конференции «Путь в будущее – наука, глобальные проблемы, мечты и надежды». – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2007.
3. *Черникова Д.В., Черникова И.В.* Проблема природы человека в свете NBIC-технологий // Изв. Томского политех. ун-та. Экономика. Философия, Социология и Культурология. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.– Т. 316, № 6. – С. 88–92.
4. *Garrean. J.* Radial evolution: The Promise and Peril of Enhancing our Minds, our Bodies and what it means to be Human. – Doubleday, 2011.
5. *Spohrer J.* NBICS (Nano-Bio-Info-Cogno-Socio) Convergence to improve human performance: Opportunities and Challenges / eds. M. C. Roco and W. S. Bainbridge // *Converging technologies for improving human performance.* – Dordrecht: The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. – P. 101–117.
6. *Ковальчук М.В.* Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее // Российские нанотехнологии.– Т. 6, № 1/2. – 2011.
7. *Ахматова Н.Е.* Развитие и внедрение NBIC-технологий: история и современность // Современные проблемы науки и образования.– 2014.– №5.– URL: <https://science.education.ru/ru/article/view.id=15075> (дата обращения: 15.04.2016).
8. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2009) // Труды Международной конференции.– М.: ИПУ РАН, 2009. – 288 с.
9. *Душкин, Д.Н., Фархадов М.П.* Сетевые технологии: эволюция, текущее положение и области дальнейших исследований // Автоматизация и современные технологии, 2012. – №1. – С. 21–29.
10. *Маслобоев А.В.* Мультиагентная информационно-аналитическая среда поддержки управления региональной безопасностью "Безопасный Виртуальный Регион" // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №4 (86). – С. 128–138.
11. *Юсупов Р.М., Соколов Б.В.* Анализ состояния исследований проблем управления жизненным циклом искусственно созданных объектов // Труды СПИИРАН. – 2011. – Вып. 16.– С. 37–109.
12. *Пеньков М.М., Петров Г.Д., Птушкин А.И.* Состояние исследований проблем управления жизненным циклом сложных объектов // Сборник статей Второй Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – СПб, 2014. – С. 70–72.
13. *Вальстер В.* Индустрия 4.0: производственные процессы будущего // Тенденции в автоматизации. – 2014.– URL: <https://up-pro.ru/library/opinion/industriya-4.0.html> (дата обращения: 15.07.2016).
14. *Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И.* Теория систем и оптимального управления. Основные понятия, математические модели и методы анализа систем. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1979.– 319 с.

А.В. Старусев,
кандидат техн. наук
4 ГЦМП МО РФ, г. Знаменск

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ФАКТОРОВ И СИСТЕМЫ «ОПЕРАТОР – УПРАВЛЯЕМОЕ АКТИВНОЕ СРЕДСТВО – СРЕДА» ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В публикации проводится анализ системы «оператор – управляемое активное средство – среда» и рассматривается комплексное решение связанных с ним проблем, таких как анализ динамики поведения оператора и его системных характеристик. Рассматривается метод, с помощью которого можно определить вероятность летного происшествия на интересующем этапе полета из-за возникновения той или иной аварийной ситуации.

Ключевые слова: анализ аварийных факторов, испытания специальной техники, безопасность полета, динамика поведения оператора, предотвращение аварийных происшествий.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время система «оператор – машина – среда» в связи с постоянным развитием технических средств всё более и более превращается из системы контроля в систему управления, в которой человек-оператор занимает доминирующее положение. Система «оператор – машина» – это система, состоящая из человека – оператора и машины – в нашем случае управляемого активного средства (УАС), посредством которого человек-

ператор осуществляет определенную деятельность. Эти две системы считаются разными и для того, чтобы избежать или хотя бы свести к минимуму возникающие конфликты, приводящие их к неправильному функционированию, а как следствие, и к аварийным происшествиям, необходимо строго распределить, какие функции необходимо возложить на оператора, а какие – на машины.

В свою очередь, необходимо отметить, что особый контроль над вышеперечисленными системами необходим при испытаниях УАС. Ведь очевидно, что УАС – специальный транспорт более сложного уровня, в отличие от машины, поезда, которые можно остановить при возникновении неполадок.

В настоящее время становится более очевидным, что вопрос человеческого фактора при эксплуатации техники стал основным и является предметом таких направлений фундаментальных и прикладных научных исследований и разработок, как биомеханика, эргономика, медицина катастроф, диагностика и реабилитация операторов, психология и физиология человека в чрезвычайных ситуациях, математическое и физическое моделирование системы «человек – машина – среда».

Следует отметить, что проблема предотвращения авиационных происшествий остается актуальной и требует комплексного подхода и целенаправленной, постоянной работы в данном направлении, а так как в современном мире с УАС (самолетами) все еще возникают аварийные ситуации, значит имеющаяся система «оператор – УАС – среда» является несовершенной и требует дальнейшего исследования и, как следствие, различных доработок.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При проведении анализа человеческих ошибок необходимо учитывать возможность формирования оператором двигательных стандартных программ для управления системой. Когда оператор сам задает себе инструкции, контроль его деятельности не так велик по

сравнению с тем, когда он действует под руководством инструктора или имеется заранее определенная и письменно заданная процедура. Как следствие, это приводит к тому, что событие, которое на ранних стадиях обучения еще можно называть ошибкой, не может считаться таковым, когда оператором уже выработаны и хорошо изучены стандартные подпрограммы двигательных действий.

Как известно, компьютеризация авиационной техники помимо целого ряда положительных факторов влечет за собой и ряд негативных моментов. Проводимый анализ аварийных ситуаций показывает, что летные экипажи испытателей недостаточно хорошо подготовлены для работы на высокоавтоматизированных УАС (самолетах), а многие проблемы, с которыми экипажи (операторы) встречаются в полетах, не отражены в инструкциях и руководствах [1]. В аварийных ситуациях экипажу (операторам) зачастую приходится действовать интуитивно или полагаться на собственный опыт.

Поэтому для решения задачи по предотвращению аварийных происшествий при испытании опытных образцов летательных аппаратов (которые, как правило, являются дорогостоящими и единичными экземплярами) целесообразно применить полунатурное моделирование и провести всесторонний анализ системы «оператор – УАС – среда».

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Следует отметить наличие мирового опыта, который показывает, что соответствующая методология анализа динамических свойств эргатической системы применительно к пользователю, занимающемуся проектированием и анализом динамических систем, использовалась фирмой Systems Technology [2]. Данная система позволяет описать динамические модели и обосновать для них необходимую совокупность исходных данных на основе результатов анализа деятельности оператора и решаемых им задач.

В соответствии с предложенной методологией анализируемая система представляется в виде трех систем уравнений, описывающих движение управляемого объекта в пространстве, динамические характеристики человека-оператора, динамику и кинематику задач, которые должны решаться оператором. В рамках указанной методологии программное обеспечение для ЭВМ подготовлено таким образом, чтобы полное описание динамики, анализируемой эргатической системой, могло составляться путем диалоговой связи с ЭВМ, в которой пользователь отвечает на вопросы, задаваемые ЭВМ.

В свою очередь, следует отметить, что динамика УАС включает как управление его выходами от оператора, так и изменение от внешних возмущающих воздействий, проявляющихся в виде порывов ветра или реакции колес шасси на неровностях взлетно-посадочной полосы.

Управление «выходными» воздействиями сводится к изменению параметров движения и состояния УАС посредством соответствующих действий оператора (летчика). Оператор может получить информацию о состоянии и параметрах движения УАС как через визуальный канал, в том числе и от системы отображения информации дисплейного типа, так и в виде реакции обратной связи от сил, возникающих при движении УАС и воздействующих на чувствительные органы человека. Обратные связи по движению УАС могут быть или переменными, сознательно используемыми для обеспечения устойчивости, или переменными, которые являются причиной биодинамического вмешательства – движения, побуждаемого инерциальными силами. Оператор не должен реагировать на все обратные связи или внешние воздействия в полном объеме. Его задача сводится к их восприятию и использованию для формирования таких управляющих воздействий, которые были бы адекватны складывающейся реальной обстановке и сводились бы к устранению возникающих рассогласований между входной и выходной информацией системы «оператор – УАС – среда». Упрощенная схема анализа динамики и параметров процесса ручного управления системы «оператор – УАС – среда», по которой и реализуется упомянутая выше методология, показана на рис. 1.

На рис. 1 введены следующие обозначения: μ – система отображения внешней обстановки и параметров окружающей среды; β – человек-оператор; α – УАС; 1 – динамика системы отображения; 2 – динамика человека-оператора; 3 – динамика УАС; А – задача ввода команд и сигналов; В – ошибки системы; С – визуальная обратная связь, Д – управляющие воздействия со стороны человека; Е – возмущения; Φ – система обратной связи по динамическим характеристикам; К – параметры состояния УАС.

Рассогласование появляется от различных источников, включая шумы на выходах из-за инструментальных погрешностей чувствительных элементов системы, рассеяние или отвлечение внимания, вариации поведения во времени, нелинейности поведения по отношению к реально складывающейся обстановке и т.д.

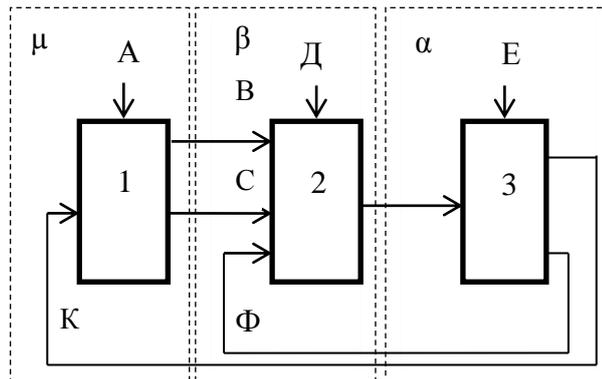


Рис. 1. Упрощенная схема анализа динамики и параметров процесса ручного управления системы «оператор – УАС»

При анализе системы ручного управления рассогласование обычно представляют в виде среднеквадратического отклонения ее выходных ошибок. Для описываемых процедур рассогласование рассматривалось лишь в плане его влияния на динамическую устойчивость в пределах ограничений, которые может обеспечить оператор.

Динамика и кинематика системы, а также совокупность команд на ее входе, обеспечивающая необходимую динамику и кинематику, может определяться на основе анализа ответов на соответствующие вопросы, таких как, например, решается ли поставленная оператору задача только посредством наблюдения реального мира или для ее решения требуется комбинированная обработка первичной информации с учетом некоторых априорных данных или другие аспекты.

С целью упрощения процедуры анализа и повышения достоверности его результатов система отображения информации структурно выполнена таким образом, чтобы четко разделить на фоне окружающей обстановки то, что зависит от оператора и что определяется динамикой УАС, которая заложена в его конструкции, и от действий оператора практически не зависит.

Действия оператора при сосредоточенном или рассеянном внимании естественно приспосабливаются к этой структуре, что особенно проявляется при решении таких задач, как визуальное слежение за целью или посадка при сильных порывах ветра.

Для определения параметров и структуры задач, включающих в себя динамику продольного движения УАС, применяется модуль, который позволяет пользователю определить линейно-частотную область передаточных функций, необходимую для анализа реакции системы на заданные входные сигналы. Различные типы стимулирующих функций (возмущения, характерные для порывов ветра, изменяющих траекторию движения УАС, и др.) вводятся посредством другого модуля.

Специалист со стажем, в совершенстве знающий особенности ручных систем управления, может иметь необходимые для анализа модели и предварительные значения параметров уже

в уме. Специалисту, не обладающему таким опытом по ручному управлению, необходима помощь в определении архитектуры системы, составлении уравнений, описывающих ее функционирование, в определении предварительных значений параметров и критериев анализа. Роль помощника в указанной ситуации отводится имитационному моделирующему стенду (ИМС) с базой данных, обеспечивающему выбор управлений, описывающих динамику продольного и бокового движения УАС, характерных для данного пилота способов управления и поведения, критериев оценки эффективности исполнения поставленных задач, источников задающих функций или стимулирующих сигналов и моделей.

Полученные результаты анализа деятельности оператора при управлении УАС были отобраны в следующей очередности:

- эволюция комплексного выстраивания правил сокращения заданного сценария до простейшего его представления, которое может отражать преобладающие черты и тенденции действительного случая;
- точность, основанная на эмпирике предположения о начальных параметрах из базы данных, в которой накоплена информация о результатах исследований;
- анализ деятельности операторов (пилотов) за последние десятки лет.

Для наглядной иллюстрации возможностей предложенной методологии рассмотрим пример анализа системы «оператор – УАС – среда» применительно к продольному каналу управления УАС.

Предположим, что перед специалистом-аналитиком стоит задача определения вероятностного поведения оператора, оценки эффективности его деятельности и возможных потенциальных трудностей при продольном управлении УАС, которое преследует маневрирующую летающую мишень. Решению данной задачи предшествует установление и описание всех последовательно выполняемых процедур и шагов, методов их практической реализации. Затем осуществляется анализ полученных результатов. Основная база данных, накопленная по проблеме управления УАС оператором, трансформируется в четко очерченную структуру, которая схематично представлена на рис. 2 в виде модели функционирования продольного канала управления системы «оператор – УАС – среда».

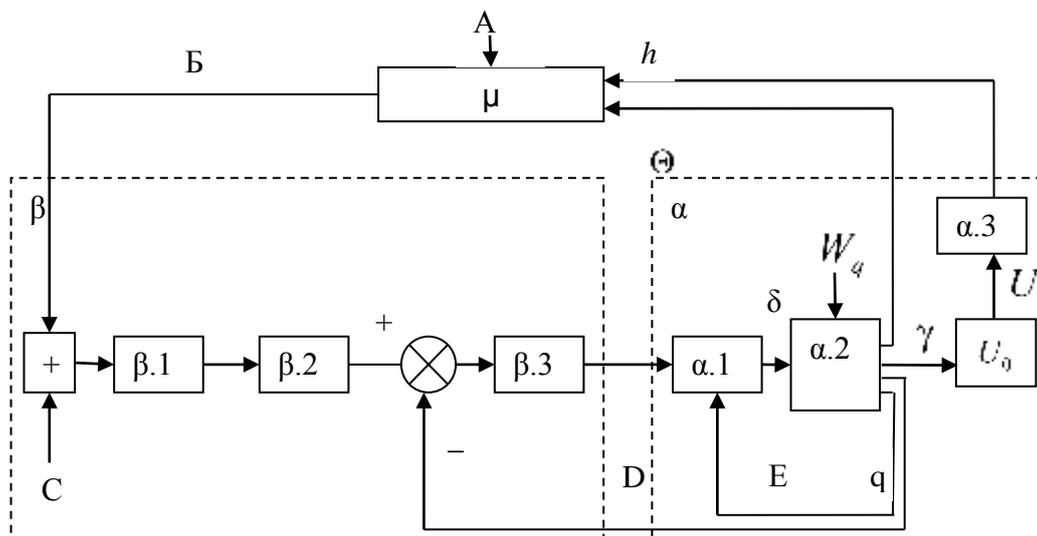


Рис. 2. Схематическая модель функционирования продольного канала управления системы «оператор – УАС – среда»

На рис. 2 введены следующие обозначения: μ – блок, описывающий динамику обратной связи системы «оператор – УАС – среда»; β – блок, описывающий деятельность пилота; α – блок, описывающий поведение УАС и функционирование системы управления полетом; А – задание на полет (входной командный сигнал); Б – визуальная обратная связь; С – подсозна-

тельная реакция оператора, определяемая его опытом; D – обратная связь по движению УАС; E – обратная связь по скорости q вращения УАС по тангажу; $\beta.1$ – формирование оператором концептуальной модели деятельности; $\beta.2$ – задержка воспроизведения информации на дисплее и запаздывание ее визуального восприятия оператором; $\beta.3$ – принятие решения и формирование управляющего воздействия; $\alpha.1$ – блок системы автоматического управления оператором; $\alpha.2$ – блок воспроизведения динамики УАС; $\alpha.3$ – блок интегрирования; δ – управляющий выходной сигнал на изменение высоты полета; W_q – возмущающие воздействия среды, приводящие к изменению вертикальной скорости УАС; γ – угол наклона траектории полета УАС; q – скорость вращения УАС по тангажу; U_o – горизонтальная скорость УАС; U – скорость изменения высоты; h – высота полета; Θ – угол тангажа.

Входами модели являются:

- задание на полет, возмущения УАС, вызванные порывом ветра;
- управляющие воздействия со стороны оператора, в том числе и определяемая его опытом подсознательная реакция на внешние возмущения со стороны окружающей среды и УАС.

В состав разработанной модели входят блоки, описывающие динамику УАС, поведение оператора и функционирование системы управления полетом и специфично учитывающие повышение устойчивости системы за счет введения в контуры управления отрицательной обратной связи по параметрам движения УАС в пространстве, по скорости q вращения УАС по тангажу, по визуальному каналу.

Блок, описывающий деятельность оператора, реализует процедуру формирования им концептуальной модели процесса управления УАС и контроля параметров полета, учитывает задержку воспроизведения информации на дисплее и запаздывание ее визуального восприятия оператором, реализует процедуру принятия решения и обеспечивает формирование управляющих воздействий. Он позволяет вычислить количественные характеристики поведения оператора, оценить эффективность его деятельности по времени и безошибочности выполнения основных операций управления и по нейромускульной динамике.

Блок, описывающий поведение УАС и функционирование системы управления полетом, условно может быть представлен в виде совокупности трех блоков: автоматического управления полетом, воспроизведения динамики УАС и интегрирования, которые на рис. 2 обозначены соответственно как $\alpha.1$, $\alpha.2$ и $\alpha.3$. Основным входом данного блока являются управляющие воздействия, формируемые на выходе предыдущего блока модели, описывающего деятельность оператора. По данным управляющим воздействиям с учетом скорости вращения УАС по тангажу блок $\alpha.1$ формирует управляющий выходной сигнал на изменение высоты полета. По этому сигналу и возмущающим воздействиям среды, приводящим к изменению вертикальной скорости УАС, в блоке $\alpha.2$ определяются текущие значения угла тангажа θ , угла наклона траектории полета УАС, скорости вращения УАС по тангажу и отрабатываются сигналы обратной связи по движению УАС, используемые при принятии решения и формировании управляющих воздействий оператором.

По текущему значению угла наклона траектории полета УАС и его горизонтальной скорости определяется вертикальная скорость, на основе которой вычисляется текущее значение высоты полета.

Таким образом, в модели функционирования продольного канала управления на блок, описывающий динамику обратной связи системы «оператор – УАС – среда», из блока α поступает информация о высоте полета h и угле тангажа θ , которая сравнивается затем в блоке μ с соответствующей информацией, содержащейся в задании на полет. Отклонение текущих значений h и θ от заданных индицируется на средствах отображения информации и используется для реализации визуальной обратной связи от блока μ к блоку β модели.

Блок μ описывает динамику обратной связи системы «оператор – УАС – среда» для следующих трех задач продольного управления УАС:

- обеспечение захода на посадку и снижения УАС по глассаде планирования с минимально возможными ошибками и углом тангажа, гарантирующим безопасное приземление;
- сопровождение цели, основанное на получении оператором обратной связи ошибки от дисплея системы или непосредственно через визуальное восприятие;
- директорный полет по дисплею, который формирует и индицирует устраняемый оператор суммарный сигнал ошибки.

В первом случае оператор реализует одновременно две цели управления. Во-первых, он обеспечивает минимизацию отклонений УАС от заданной глассады планирования посредством отслеживания за командным сигналом высоты h_c , который с некоторым усредненным шумом отображает такую глассаду, и, во-вторых, реализует управление по высоте и скорости при минимально возможных колебаниях УАС на траектории снижения.

При сопровождении цели и реализации полета УАС в директорном режиме оператор заканчивает управление одной и той же операцией – устранением возникшего отклонения отслеживаемой точки от ее расчетного положения.

Для полета в директорном режиме системные конструкторы определяют динамику дисплея в соответствии с выражениями:

$$G_{\theta} = \frac{K_{\theta} p \left(p + \frac{1}{T_q} + \frac{K_{\theta}}{K_{\theta}} \right)}{\left(p + \frac{1}{T_q} \right)}; \quad (1)$$

$$G_h = K_h \left(p + \frac{K_h}{K_h} \right), \quad (2)$$

где G_{θ}, G_h – передаточные функции каналов обратной связи по углу тангажа θ и высоте h ;

p – оператор преобразования Лапласа;

T_q – постоянная времени колебаний УАС по тангажу;

K_{θ}, K_h, K_U – коэффициент усиления трактов управления по углу тангажа, скорости изменения угла тангажа, высоте и скорости изменения высоты полета.

Входной командный сигнал для системы, обеспечивающей полет в директорном режиме, является таким же, как и при снижении УАС по глассаде планирования (h_c), в то время как при сопровождении цели в качестве входного командного сигнала используется информация о высоте маневрирующей цели (мишени) h_y .

Новые модели для управляемых элементов могут быть легко найдены из приведенных выше уравнений или представленной на рис. 2 схематичной блок-схемы. Управления для данных ситуаций получены посредством учета специфики последних, которая выявляется в процессе испытаний. Причем продольное управление осуществляется по угловой скорости вращения УАС по тангажу q и вертикальной скорости ω . Используя параметры q и ω , можно найти и другие переменные, такие как угол наклона траекторий полета ν и нормальное ускорение, взаимодействующее на УАС и оператора. В общем виде управления модели продольное управление УАС можно записать и в матричной форме, где в правой части представлены входные параметры, а в левой – переменные выхода модели:

$$[L(p)][Y] = [R(p)][X]. \quad (3)$$

Каждый элемент из L и R матриц может иметь элементы второго порядка, т. е. может быть представлен в виде $ap^2 + bp + c$. Элементы матриц L и R вводятся в модель через входной регистр из предварительно упорядоченного каталога (памяти ЭВМ). Решение приведенных выше уравнений позволяет получить совокупность параметров, изменяемых в процессе

функционирования системы «оператор – УАС – среда» и характеризующих ее динамику. Если рассматривать модели системы, приведенной на рис. 2, то можно найти, например, коэффициент демпфирования УАС K_q и постоянную времени колебаний УАС по тангажу T_q , коэффициенты K_p и K_1 канала визуальной обработки связи оператора, постоянную времени задержки визуального восприятия сигнала T_L и его запаздывания при передаче от блока μ к блоку β , т. е. T_1 , а также коэффициент K_m цели формирования сигнала обратной связи по движению УАС и постоянную времени этой цели связи T_m . Величины коэффициентов и постоянных времени могут быть найдены из передаточных функций блоков $\alpha.1$, $\beta.1$ и цепи обратной связи D , которые имеют следующий вид:

$$W_{\alpha.1} = \frac{K_p(p + \frac{1}{T_q})}{p}; W_{\beta.1} = \frac{K_1}{T_1 p + 1}; W_{\beta.1}^* = K_p(T_L p + 1); W_D = K_m e^{-T_m p}. \quad (4)$$

Проведенные расчеты показали, что применительно к УАС, имеющему массу около 8000 кг, среднее значение скорости полета $U_0 = 830$ км/ч, величина $\frac{1}{T_q} = 6$ рад/с, $K_q = -0,426$ с⁻¹ и $K_m = 0,15$. При этом задержка оператора (пилота) по принятию решения составила $\tau_n = 0,05 \div 0,1$ с, и он способен вести сопровождение цели с угловой скоростью линии визирования в пределах $\zeta = 18$ рад/с.

При проведении испытаний по сопровождению цели, когда последняя располагалась относительно УАС на удалении $R=600$ м, задержка времени восприятия оператором (пилотом) изменений ее пространственного положения по отношению к своему УАС составила 0,15 с, что вполне сопоставимо со временем запаздывания дисплея по отображению на нем измерений пространственного положения цели. Частота колебаний системы в среднем составляет ≈ 10 рад/с и может изменяться в пределах от 6 до 20 рад/с.

Для более детальной оценки возможностей оператора как элемента системы «оператор – УАС – среда» необходимо дополнительно иметь алгоритм его управляющих действий, который бы позволял устанавливать и оценивать на основе использования датчиков и ЭВМ нагрузки на косно-мышечную [3] и сердечно-сосудистую системы человека. Внедрение указанных мероприятий позволит повысить эффективность исследований путем использования в полном объеме возможности усовершенствованного опытно-теоретического метода исследований при минимизации материальных, трудовых и временных затрат [4, 5, 6].

Как показывает практика, для всесторонней оценки степени влияния возможных аварийных факторов на исход полета необходимо применять и метод статистического моделирования и экспертных оценок. Основой статистического моделирования является применение и реализация на ЭВМ комплексной динамической модели полета УАС в условиях действия случайных возмущений (отказов) в целях получения необходимых статистических данных для определения достоверности значений условных вероятностей летного происшествия с аварийным последствием при проявлении j -го фактора $Q(ЛП / П_j)$. После расчета и оценки $Q(П_j)$ – вероятности появления j -го фактора – на основании статистических данных о надежности, частоте повторения ошибок пилотирования, частоте появления тех или иных чрезвычайных условий полета определяются значения условных вероятностей летного происшествия при появлении j -го фактора по формуле

$$Q_j(ЛП) = Q(ЛП / П_j) Q(П_j), \quad (5)$$

где $Q_j(ЛП)$ – безусловная вероятность летного происшествия из-за j -й причины;

$Q(ЛП / П_j)$ – условная вероятность летного происшествия при проявлении j -й причины;

$Q(P_j)$ – вероятность проявления j -й причины, приведшей к летному происшествию или к ее предпосылке (например, вероятность отказа двигателя, системы управления или другого агрегата, вероятность ошибок летного состава при подготовке авиационной техники к полетам и т.д.).

По значениям условных вероятностей производится оценка безопасности полета [7].

Считается, что при статистическом моделировании в целях определения $Q(LП / П_j)$ летное происшествие с аварийным последствием происходит, если одна из координат или один из параметров движения УАС (скорость, высота полета, перегрузка, угол крена, угловая скорость вращения и т.д.) выходит за пределы допустимых значений [7]:

$$Q(LП / П_j) = Q[\bar{X} \in (\bar{X}_{огр})], \quad (6)$$

где $\bar{X}_{огр}$ – область допустимых значений координат $X(X_1, X_2, \dots, X_k)$. При этом расчет ведется по частоте событий выхода

$$Q^*(LП / П_j) = \frac{m}{N}, \quad (7)$$

где m – число событий выхода координат движения УАС за пределы допустимых значений;
 N – число проведенных опытов.

Так как число опытов может быть различно, то после расчета $Q^*(LП / П_j)$ необходимо оценить доверительные интервалы и доверительные вероятности. Однако для получения достаточных значений условной вероятности летных происшествий потребуется большое количество экспериментов. Тем не менее затраты на их проведение, без сомнения, окупятся обеспечением безопасности полетов.

В свою очередь, установление возможных причин летных происшествий с аварийным исходом на основе экспертных оценок базируется на опросе летного, инженерно-технического состава авиационных подразделений и конструкторов. Он проводится с учетом специализации по профилю производственной деятельности. Применение данного метода требует наименьших трудозатрат и может быть признано в качестве основного, а для новой техники (экспериментальной) и единственного. Для обработки информации, получаемой в результате опроса специалистов, используются специальные математические методы [7, 8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последнее десятилетие значительно возрос объем алгоритмов функционирования систем «оператор – УАС – среда». Поэтому для обеспечения всестороннего анализа данной системы и комплексного решения связанных с ними проблем, таких как анализ динамики поведения оператора (законов управления, свойств шумов оператора и т.п.) и его системных характеристик (ошибок, качества ручного управления, времени реакции на различные сигналы и т.п.) требуется применять ЭВМ. Причем применение их является плодотворным и при решении других задач, связанных с наличием в контуре управления движущихся объектов человека-оператора (например, оценка эффективности управления наземными транспортными средствами).

В последнее время, когда человечество передает исполнение некоторых логических функций мозга ЭВМ, большое значение приобретает глубокое знание законов логического мышления. Дело в том, что ЭВМ обрабатывает передаваемую ей информацию и умозаключает по канонам запрограммированной в ней конструктором общечеловеческой логики. А так как причина снижения работоспособности летного состава в полете часто является следствием болезни движения, что представляет угрозу для безопасности полетов, то рассматриваемые вопросы являются весьма актуальными.

Как показывает практика последних лет, с помощью рассмотренных методов можно определить вероятность летного происшествия на интересующем нас этапе полета из-за возникновения той или иной аварийной ситуации. При этом полученные материалы помогут указать конструктору-разработчику на наиболее слабые с точки зрения безопасности полета и системы места в конструкции УАС, а также в технике пилотирования, которые требуют наибольшего внимания.

В свою очередь, изучение вопросов психофизического направления в обеспечении безопасности полетов связано с изучением распределения функций между оператором и автоматическими системами управления, соответствия характеристик УАС и его оборудования физиологическим возможностям оператора с построением оптимальных бортовых информационных систем, а также отбором и обучением летного состава.

Вопрос обеспечения безопасности полета УАС является многогранным, поэтому не следует также забывать и о другом важном направлении – организационно-техническом. Оно включает совершенствование в эксплуатирующих организациях планирования управления и руководства полетами, подготовки и обучения летного и инженерно-технического состава, организации применения наземных средств обеспечения полетов. Для обеспечения безопасности полетов необходимо также своевременное и качественное выполнение профилактических мероприятий непосредственно в эксплуатирующих организациях.

Список используемых источников

1. *Никольский М.* Проблемы интерфейса "человек-машина" на высокоавтоматизированных гражданских самолетах // *Авиация и космонавтика вчера, сегодня, завтра.* – 2011. – № 9. – С. 55–56.
2. Computer-aided procedures for analyzing pilot/vehicle/system interactions / *R.W. Allen, D.T. McRuer, R.E. Maqdaleno, H.R. Jex* // *Proc. IEEE Nat. Aerosp. And Electron. Conf.: NAECON, Dayton, Ohio, May 19-23, 1986.* – 1986. – Vol. 2. – P. 339–348.
3. *Kummer B.* The musculo-skeletal system in man: development structure and function in dependence on gravity, and potential limitations for long term space flights // *Advances Space Research* – 1986. – № 12. – P. 323–330.
4. *Старусев А.В., Лобейко В.И., Гуенко А.В.* Метод оценки критерия трудоемкости разрабатываемой имитационной модели сложной технической системы // *Известия Волгоградского государственного технического университета.* – 2016. – № 11 (190). С. 21–26.
5. *Михолап Л.А., Старусев А.В., Лобейко В.И.* Метод оценки степени соответствия имитационной модели ее целевому назначению с помощью функциональных критериев // *Известия Волгоградского государственного технического университета.* – 2016. – № 3 (182). – С. 17–21.
6. *Лобейко В.И.* Современные подходы к организации испытаний сложных систем. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2006. – 332 с.
7. *Соломонов П.А.* Технические вопросы обеспечения безопасности полетов. – М.: Воениздат, 1975. – 120 с.
8. Вопросы. Гипотезы. Ответы: Наука XXI века: коллективная монография. / *Л.А. Грачева, Ю.А. Извеков, Л.А. Михолап, Л.В. Объедкова, Т.В. Опейкина, М.С. Пантелеева, А.И. Поспеловская, Д.В. Поспеловский, А.В. Старусев.* – Краснодар, 2017. – Кн. 15. – 144 с.

В.И. Гера,
кандидат техн. наук;
Ю.А. Каменев,
адъюнкт;
А.В. Мацкевич
кандидат техн. наук;
А.С. Соломахин,
кандидат техн. наук;
А.М. Сычева,
доктор техн. наук

МЕТОДИКА СИНТЕЗА ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В работе показана методика синтеза полимерцементного неавтоклавногo пенобетона (ПЦНП) с комплексом новых физико-механических свойств. Применение такого материала в качестве одного из слоев дорожной одежды позволит повысить энергопоглощающие свойства всей конструкции, а также получить запас прочности по условиям упругого прогиба и сопротивлению слоев усталостному разрушению, а также сдвигоустойчивости и термического сопротивления.

Ключевые слова: дорожная одежда, полимерцементный пенобетон, полимер, энергопоглощение.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Стратегии национальной безопасности Российской Федерации от 31 декабря 2015 года, в современном мире обостряются противоречия, связанные с борьбой за ресурсы, доступом к рынкам сбыта, контролем над транспортными артериями. Особое значение в этом процессе приобретает лидерство в освоении Арктики [10]. С целью реализации национальных интересов, определенных в Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу, необходимо обеспечить благоприятный оперативный режим в Арктической зоне Российской Федерации, включая поддержание необходимого боевого потенциала группировок войск общего назначения Вооруженных Сил Российской Федерации [9], в том числе Воздушно-космических сил (ВКС) в этом регионе. В интересах обеспечения военной безопасности на Арктическом направлении перед ВКС поставлена задача по защите воздушно-космического пространства этого региона, которая неосуществима без создания и грамотной эксплуатации объектов военной инфраструктуры. Данная инфраструктура включает в себя аэродромы, военные базы и позиции, автомобильные дороги оборонного значения и дороги необщего пользования МО РФ, критическое состояние которых ставит под угрозу нормальное функционирование объектов МО РФ, обеспечение военной, социальной, экологической и других видов национальной безопасности.

Повышение качества и снижение стоимости дорожного строительства в условиях Арктики требует применения новых технологий, учитывающих особенности региона. В качестве основных особенностей можно выделить:

- отсутствие основных строительных материалов для возведения дорожных насыпей и большие расстояния до мест их производства;
- большие территории, находящиеся в районах с вечномерзлыми или пучинистыми грунтами;
- низкие зимние температуры на значительной территории региона.

Повышение качества автомобильных дорог требует учета геологических особенностей нашей страны, а именно, распространение на значительной территории пучинистых, просадочных и вечномерзлых грунтов, оказывающих разрушающее воздействие на конструкцию дорожной одежды (КДО). Кроме того, недостаточная энергопоглощающая способность материалов КДО, необходимая для рассеивания напряжений от проходящего по поверхности дорожного покрытия автотранспорта, также ведет к снижению сроков службы дорожной одежды (ДО). Из анализа нормативной документации [6] следует, что на сегодняшний день отсутствуют показатели материалов, с помощью которых можно было бы оценить энергопоглощающую способность КДО.

Среди материалов для КДО можно выделить легкие и ячеистые бетоны естественного твердения, которые, имея монолитную структуру и достаточные для ДО 1-2-й категории физико-механические характеристики, могут использоваться в качестве несущего основания ДО, выполняющего морозозащитную функцию за счет своей низкой теплопроводности.

Использование ПЦНП продиктовано необходимостью:

- применения теплоизоляционного слоя в дорожной одежде, который способствует рассеиванию энергии, возникающей от проходящего транспорта;
- повышения морозоустойчивости дорожной одежды и земляного полотна для районов, сложенных пучинистыми и вечномерзлыми грунтами.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Из существующих ячеистых материалов необходимо выделить неавтоклавный пенобетон, который имеет преимущество, заключающееся в том, что его структура образуется за счет введения в цементно-песчаную смесь строительной пены, в результате чего структура пор становится замкнутой, а их внутренняя поверхность выстилается пленкой пенообразователя.

В данной работе предлагается основная идея – если в пенобетон ввести полимер и получить полимерцементный пенобетон [1, 2], то такой материал будет обладать рядом преимуществ и новых свойств, важных для ДО, в которых он будет применяться. Одно из преимуществ заключается в том, что присутствие полимера в составе материала будет приводить к повышению его энергопоглощающей способности, поскольку полимеры имеют в основном аморфное, не кристаллическое строение с высокой степенью разупорядоченности. Прохождение по такому материалу любых упругих волн, например виброволн, возникающих от колес проходящего транспорта, будет в значительной мере тормозиться и рассеиваться, что обеспечит всей КДО высокие демпфирующие свойства и, соответственно, большую долговечность. Это может быть принципиально важным в условиях военного времени, когда значительно увеличивается интенсивность движения и масса проходящего автотранспорта.

В данной публикации, в соответствии с [3–5], впервые предлагается оценивать энергопоглощающую способность КДО при помощи коэффициента рассеивания энергии Ψ , под которым понимают отношение рассеяния энергии ΔW за цикл установившихся колебаний к амплитудному значению потенциальной энергии W упругой системы:

$$\Psi = \frac{\Delta W}{W}. \quad (1)$$

В свою очередь, в работе [3] показано, что Ψ связан с декрементом затухания колебаний d – количественной характеристикой быстроты затухания колебаний, равной натуральному логарифму отношения двух последующих максимальных отклонений X колеблющейся величины в одну и ту же сторону следующим уравнением:

$$d = e^{-0,5/\Psi}. \quad (2)$$

Из представленных зависимостей следует, что если измерить декремент затухания колебаний КДО с применением в качестве одного из слоев различных ячеистых материалов, в том числе полимерцементного неавтоклавного пенобетона (ПЦНП), то можно рассчитать коэффициент рассеивания энергии различных вариантов КДО, оценить и сравнить их энергопоглощающую способность [5].

Кроме того, присутствие полимера в материале обеспечит улучшение следующих физико-механических свойств материала: понизит коэффициент теплопроводности в результате торможения тепловой волны при ее распространении по материалу; снизит водопоглощение ПЦНП из-за его частичной гидрофобизации; повысит прочность на растяжение при изгибе вследствие того, что весь материал будет «проармирован» полимерными пленками. Улучшатся и адгезионные свойства неавтоклавного пенобетона, что обусловлено хорошим сцеплением полимера с другими материалами.

К основным технологическим преимуществам применения ПЦНП в КДО можно отнести следующее:

- повышение энергопоглощающей способности КДО за счет увеличения декремента затухания колебаний d и коэффициента рассеивания энергии Ψ ;
- повышение морозостойкости и несущей способности КДО за счет увеличения ее термического сопротивления. Следствием этого является возможное уменьшение толщины самой ДО и сокращение слоев асфальтобетона;
- обеспечение сдвигоустойчивости в малосвязных слоях ДО за счет повышения адгезионных свойств ПЦНП;
- уменьшение объема качественных привозных грунтов при сооружении земляного полотна с сохранением мерзлого грунта за счет использования в нижней части насыпи местных грунтов;
- снижение толщины дренающего слоя за счет частичной гидрофобизации материала в присутствии полимера, который препятствует проникновению влаги в материал и ограничивает ее доступа в слой асфальтобетона;
- ограничение или полное предотвращение промерзания подстилающего грунта земляного полотна;
- снижение материалоемкости ДО за счет применения нетрадиционных конструкций и, следовательно, уменьшение затрат на традиционные строительные материалы: песок, щебень, гравий;
- повышение эксплуатационной надежности и сроков службы дорожных покрытий.

Исходя из предложенного научного обоснования применения ПЦНП в КДО, а также ряда технологических преимуществ, в работе поставлена задача разработки методики синтеза ПЦНП с повышенными физико-механическими характеристиками, а также оценки технико- и военно-экономической эффективности его применения при строительстве и реконструкции АДНП МО РФ.

Целевая постановка задачи синтеза ПЦНП заключается в получении материала с заранее заданными свойствами. Она выражается в виде аналитической зависимости, связывающей с определенной точностью величину выходного параметра с величинами варьируемых факторов, представленных в табл. 1:

$$Y_j = F(X_1, X_2, \dots, X_i),$$

где $i=1(1)3$; $j=1(1)5$; $Y_j \geq Y_{j\text{эт}}$.

Постановка задачи по оценке технико-экономической эффективности (ТЭЭ) применения синтезированного ПЦНП будет иметь вид

$$П_{\text{ТЭЭ}} = \frac{S_i}{S_{\text{СП}}}, \quad (3)$$

где S_i – приведенные строительно-эксплуатационные затраты на 1 км ДО с применением i -го материала в качестве слоя несущего основания, тыс. руб.;

$S_{СП}$ – приведенные строительно-эксплуатационные затраты на строительство 1 км ДО с применением ПЦНП, тыс. руб.

Таблица 1

Параметры качества и варьируемые параметры разрабатываемого ПЦНП

Основные варьируемые параметры	Параметры качества, разрабатываемого ПЦНП
X_1 – расход полимера от массы пенообразователя, %;	Y_1 – модуль упругости E , Мпа;
X_2 – вид полимера;	Y_2 – прочность на растяжение при изгибе R_{bt} , Мпа;
X_3 – вид пенообразователя	Y_3 – прочность при сжатии R_b , Мпа;
	Y_4 – теплопроводность λ , Вт/(м °С);
	Y_5 – объемное водопоглощение ρ , %.

При оценке ТЭЭ сравним две КДО при одинаковых исходных данных. Первая конструкция – традиционная, по нормативному расчету [6], вторая – с применением ПЦНП. При этом запасы их прочности, полученные в результате расчетов и подбора толщин конструктивных слоев, должны быть одинаковыми. Затем проведем сметный расчет стоимости 1 км полученных КДО.

Постановка задачи по оценке военно-экономической эффективности (ВЭЭ) применения, синтезированного ПЦНП будет иметь вид

$$P_{ВЭЭ} = \frac{P_{Эi}}{S_{СЭzi}}, \quad (4)$$

где $P_{Эi}$ – показатель эффективности применения в КДО i -го материала;

$S_{СЭzi}$ – приведенные строительно-эксплуатационные затраты на строительство 1 км ДО с применением i -го материала, тыс. руб.

Показатель эффективности применения в КДО i -го материала можно рассчитать из выражения

$$P_{Эi} = \frac{K_{пр i1}^\Phi}{K_{ТР 1}^\Phi} + \frac{K_{пр i2}^\Phi}{K_{ТР 2}^\Phi} + \frac{K_{пр i3}^\Phi}{K_{ТР 3}^\Phi} + K_{пр i4}^\Phi + \Psi, \quad (5)$$

где $K_{пр ij}^\Phi$ – j -е фактические прочностные показатели конструкции, рассчитанные в соответствии с [6] с применением i -го материала;

1 – по допускаемому упругому прогибу конструкции в целом:

$$K_{пр i1}^\Phi = \frac{E_{общ i}}{E_{min}}, \quad (6)$$

2 – по недопустимым остаточным деформациям в подстилающем грунте и малосвязных слоях ДО:

$$K_{пр i2}^\Phi = \frac{T_{пр i}}{T_{расч}}, \quad (7)$$

3 – по сопротивлению напряжениям, возникающим под действием повторных кратковременных нагрузок:

$$K_{\text{при}3}^{\Phi} = \frac{RN_i}{\sigma_{\text{расч}}}; \quad (8)$$

4 – по морозоустойчивости:

$$K_{\text{при}4}^{\Phi} = \frac{R_{\text{од(о)}}}{R_{\text{од(тр)}}}; \quad (9)$$

Ψ – коэффициент рассеивания энергии, характеризующий энергопоглощающую способность КДО;

$K_{\text{пр}j}^{\text{ТР}}$ – j -е значения требуемых коэффициентов прочности, определяемых нормативной документацией.

При оценке ВЭЭ сравним две КДО при одинаковых исходных данных. Первая конструкция – традиционная, по нормативному расчету, вторая – с применением ПЦНП. При этом стоимости 1 км КДО, полученных в результате расчетов и подбора толщин конструктивных слоев, должны быть одинаковыми. Затем проведем оценку запасов прочности полученных КДО.

ЭКСПЕРИМЕНТ

С целью создания методики синтеза ПЦНП были проведены экспериментальные исследования. При подборе состава ПЦНП было предложено вводить полимер в состав пенобетона вместе с раствором пенообразователя, что может кроме названных выше преимуществ оказать стабилизирующий эффект на образующуюся пену и увеличить время ее устойчивости.

В ходе исследования были использованы следующие сырьевые материалы: в качестве вяжущего – портландцемент ПЦ 500 Д0, в качестве заполнителя – кварцевый песок с размером частиц не более 0,63 мм, в качестве пенообразователя – белковый пенообразователь FoamСет, поскольку в работе [7] показана актуальность его использования для материалов на цементной основе, в качестве полимеров – латекс СКС-65ГПБ и поливинилацетат.

На рис. 1 показана устойчивость пены, приготовленной из раствора пенообразователя с введением предлагаемых полимеров; она сравнивалась с устойчивостью пены без добавок, время которой составило 40 мин.

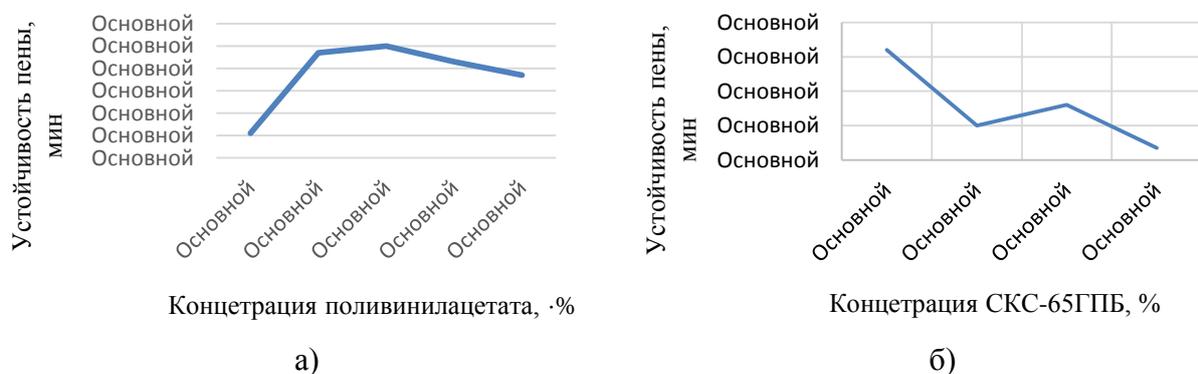


Рис. 1. Устойчивость пены, приготовленной из раствора пенообразователя с введением полимеров:
а – поливинилацетата; б – СКС-65ГПБ

Из графиков, изображенных на рисунке, видно, что при использовании различных стабилизаторов устойчивость пены увеличивается до двух раз. Этот эффект может быть связан с проявлением различных механизмов стабилизации, таких как увеличение вязкости жидкости в пенной пленке или образование химических связей между белком пенообразователя и вводимым стабилизатором. И в том и в другом случае увеличивается прочность пенной пленки за счет того, что межпленочная жидкость не истекает под действием сил тяжести и не происходит схлопывание пузырьков.

В табл. 2 показаны физико-механические характеристики полученного в присутствии полимеров пенобетона [8].

Таблица 2

Физико-механические характеристики ПЦНП различных средних плотностей

Класс по средней плотности	Коэффициент теплопроводности, λ Вт/(м $^{\circ}$ С)	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Морозостойкость, F циклы	Водопоглощение, %	Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·час·Па)
D200	0,04	0,06	Не нормируется	23	0,28
D300	0,065	0,45	Не нормируется	21	0,25
D400	0,085	0,76	15	19	0,22
D500	0,10	1,26	25	16	0,21
D600	0,12	1,38	35	15	0,19
D700	0,16	1,6	35	11	0,16
D800	0,185	1,99	50	8	0,15
D1000	0,21	4,95	75	5	0,12

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает: полученный ПЦНП имеет пониженный коэффициент теплопроводности, который соответствует пенобетону классом ниже по средней плотности; в сравнении с контрольными образцами прочность на растяжение при изгибе возрастает до 35%, морозостойкость – до 10 циклов, объемное водопоглощение снижается до 15%, коэффициент паропроницаемости увеличивается и соответствует пенобетону классом ниже по средней плотности.

Далее для оценки свойств КДО были проведены предварительные расчеты ДО с применением ПЦНП в сравнении с классической конструкцией, приведенной в нормативной документации [6], которые показали, что использование ПЦНП средней плотности D1000 с предполагаемыми физико-механическими и теплотехническими характеристиками в качестве несущего основания позволяет получить запас прочности по условиям упругого прогиба и сопротивлению слоев усталостному разрушению до 2 раз, сдвигоустойчивости до 10 раз, и термическому сопротивлению до 3 раз.

Следует подчеркнуть, что КДО с ПЦНП обеспечивает условие по пучино- и морозоустойчивости с запасом до 3 раз. Данные запасы по прочности могут позволить уменьшить толщину слоя пенобетона или его класс по средней плотности. Также такие запасы по прочности позволяют при сохранении рассчитанной конструкции увеличить ее расчетный срок службы.

Результаты расчета говорят о том, что применение ПЦНП в КДО может нести функцию, как несущего основания, так и теплоизоляционного слоя. В качестве сравнения, ДО с керамзитобетоном в качестве несущего основания при схожих прочностных показателях имеет бо-

лее низкое термическое сопротивление, что приводит к дополнительным затратам на устройство дополнительных теплоизоляционных слоев.

На основе проведенных экспериментов и полученных результатов была разработана методика синтеза ПЦНП (рис. 2).

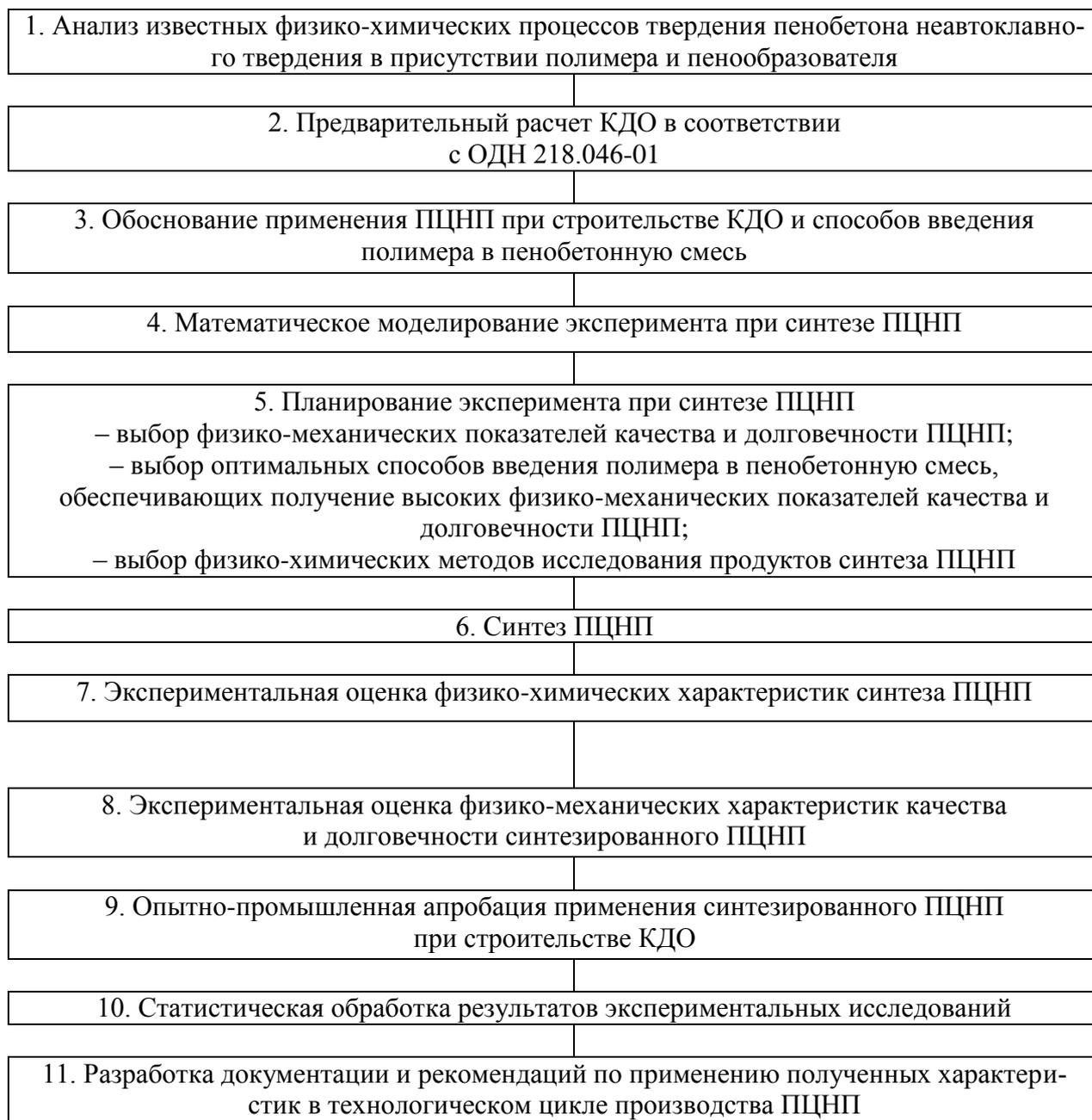


Рис. 2. Методика синтеза ПЦНП

Рассмотрим разработанные КДО с ПЦНП для строительства в различных условиях.

Для строительства дорог в условиях пучинистых грунтов предлагается КДО, в которой ПЦНП является несущим основанием, одновременно выполняющим теплоизолирующую функцию (рис. 3). Данная КДО имеет высокое термическое сопротивление и не нуждается в дополнительных морозозащитных и теплоизоляционных слоях. Такая конструкция позволяет применять местные пучинистые грунты в качестве рабочего слоя земляного полотна. Кроме того, пенобетонное основание будет выполнять хорошую энергопоглощающую функцию.

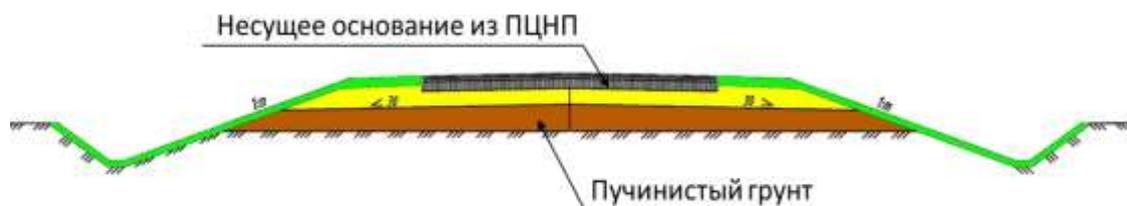


Рис. 3. КДО с несущим теплоизоляционным основанием из ПЦНП

Для строительства дорог на слабых основаниях предлагается конструкция легкой насыпи из двух слоев пенобетона различной плотности (рис. 4). В нижнем слое насыпи применяется ПЦНП средней плотности D 1000 для создания прочной монолитной плиты, обеспечивающей равномерную осадку насыпи. Следующий слой насыпи устраивается из ПЦНП средней плотности D500, который обеспечивает снижение массы конструкции и одновременно является мощным теплоизоляционным слоем, препятствующим изменению теплового режима подстилающего грунта.

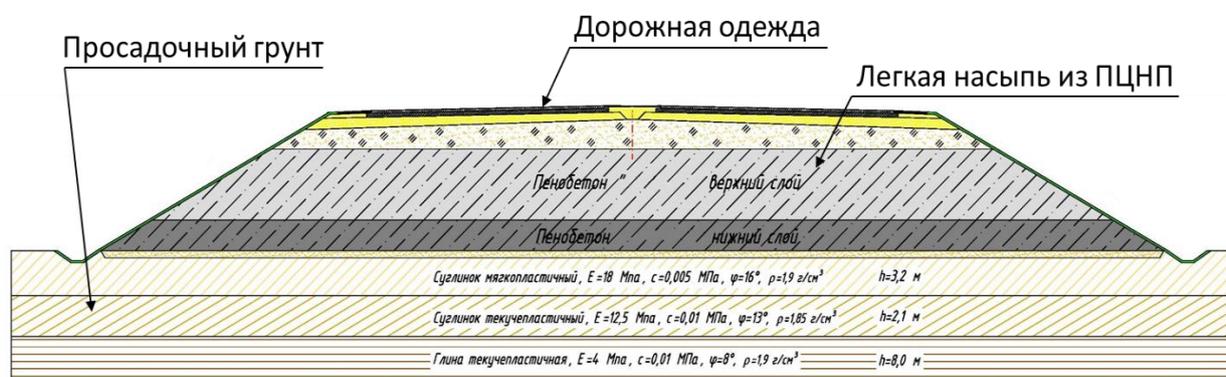


Рис. 4. Конструкция легкой насыпи из ПЦНП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании экспериментальных результатов и результатов моделирования были сделаны следующие выводы.

1. Показано, что введение в состав пенобетона полимера приводит к улучшению его физико-механических характеристик: снижению коэффициента теплопроводности и водопоглощения, увеличению прочности на растяжение при изгибе, коэффициента паропроницаемости и морозостойкости.

2. Предложено оценивать энергопоглощающую способность КДО по параметру коэффициента рассеивания энергии Ψ и декремента затухания колебания d . Обосновано, что за счет присутствия ПЦНП в КДО ее энергопоглощающая способность должна возрастать.

3. Результаты расчетов показали, что присутствие ПЦНП в качестве несущего основания ДО приводит к следующим преимуществам: запас прочности по условиям упругого прогиба и сопротивлению слоев усталостному разрушению увеличивается до 2 раз, сдвигоустойчивости до 10 раз, и термического сопротивления до 3 раз.

4. Разработана методика синтеза ПЦНП.

5. Разработаны КДО с ПЦНП для строительства в условиях пучинистых грунтов и на слабых основаниях.

Список используемых источников

1. Соломахин А.С., Каменев Ю.А. Применение полимерцементного неавтоклавного пенобетона и поддерживающего каркаса из ЛСТК в теплоизоляционных конструкциях покрытий зданий, сооружений // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2016. – № 3-4 (207). – С. 34–36.
2. Применение полимерцементного неавтоклавного пенобетона при устройстве дорожной одежды / А.М. Сычева, А.С. Соломахин, В.Г. Котович, Е.А. Тюрин, Ю.А. Каменев // Бюллетень строительной техники. – 2016.– № 11 (987).– С. 62–64.
3. Сычева А.М. Информационное значение энтропии при инновационных решениях создания теплозащитных материалов // Естественные и технические науки. – 2016. – № 1.– С. 12–14.
4. Информационное значение инженерно-химических параметров некоторых веществ и процессов для использования их в интересах устойчивого развития общества (детоксикации окружающей среды и сбережения энергии): учеб. пособие / Л.Б. Сватовская, А.М. Сычева, М.В. Шершнева, Е.И. Макарова, М.М. Байдарашвилли, А.В. Хитров, И.В. Степанова. – СПб. ПГУПС, 2013. – 81с.
5. A. Sychova, M.Sychov, E. Rusanova A method of obtaining geonoiseprotective foam concrete for use on railway transport // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189. – P. 681–687.
6. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Москва, 2001.
7. Сычева А.М., Елсеева Н.Н., Самборский С.А. Повышение качества неавтоклавного пенобетона путем стабилизации пены // Бетон и железобетон. – 2010. – № 5. – С. 13–15.
8. Применение полимерцементного неавтоклавного пенобетона при устройстве дорожной одежды / А.М. Сычева, А.С. Соломахин, В.Г. Котович, Е.А. Тюрин, Ю.А. Каменев // Бюллетень строительной техники. – 2016. – № 11. – С. 62–64.
9. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу (утв. Президентом Российской Федерации 18 сентября 2008 года № Пр-1969). – URL:<https://rg.ru/2009/03/30/arktika-osnovy-dok.html> (дата обращения: 15.06.2017).
10. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 года № 683. – URL:<https://rg.ru/2015/12/31/nacbezopasnost-site-dok.html> (дата обращения: 16.06.2017).

М.А. Голубев,
кандидат военных наук;

В.П. Маслов,
кандидат военных наук, доцент;

Н.В. Селихина,
кандидат военных наук

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

В публикации рассмотрен подход к планированию этапов формирования компетенций при проектировании основных профессиональных образовательных программ подготовки курсантов академии по программам специалитета с учетом структурно-логической взаимосвязи и содержательного согласования процесса их формирования рядом дисциплин учебного плана, а также их соответствия планируемыми результатам обучения при изучении отдельной дисциплины.

Ключевые слова: этапы формирования компетенций, основная профессиональная образовательная программа, матрица компетенции, карты компетенции, планируемые результаты обучения.

Планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) является формирование у слушателей и курсантов компетенций, установленных федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС) и организацией дополнительно, с учетом направленности (профиля) образовательной программы [согласно квалификационным требованиям (КТ) к военно-профессиональной подготовке обучающихся]. Обеспечивают достижение планируемых результатов обучения по каждой дисциплине и практике знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций. [1]

Под понятием «компетенция» в ФГОС понимается способность применять знания, умения, навыки и личностные качества для успешной деятельности в определенной области [2]. Но что понимается под этапностью или этапами формирования компетенций однозначно не определено. Этим, скорее всего, и обусловлены различия в количестве, содержании и даже наименовании этапов.

Так, некоторые образовательные организации этапы формирования компетенций рассматривают только по семестрам и годам обучения [3, 4], вероятно, исходя из определения понятия «этап» («отрезок времени, ознаменованный каким-либо качественным изменением, событиями; стадия какого-либо процесса» [5, 6]).

При проектировании процесса формирования и оценке профессиональных компетенций этапы выделяют и по «приращению значения степени освоенности компетенции в процессе обучения» [7], а именно:

- 1 этап – освоение учебных циклов и разделов;
- 2 этап – прохождение учебных и производственных практик;
- 3 этап – прохождение итоговой государственной аттестации в форме выполнения выпускной квалификационной работы.

В исследованиях по реализации процессного подхода к формированию компетенций выпускника вуза [8] его основу составляют также три этапа (начальный, базовый и завершающий). Подобные этапы формирования компетенций (начальный, основной и завершающий), выделены и в методических рекомендациях по разработке рабочей программы дисциплины (модуля) [9].

Во многих ОПОП указаны также три этапа освоения общекультурных, общепрофессио-

нальных и профессиональных компетенций, но их содержание характеризуется уровнями усвоения учебного материала, например для некоторых компетенций это уровни «понимать», «сравнивать» и «анализировать» – 1-й, 2-й и 3-й этапы соответственно. Для других компетенций – «понимать», «применять» и «использовать» [10] или когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», сформированные на первом уровне и расписанные по отдельным компетенциям [11].

Как приведено в описании механизма системогенеза компетенций [12], процесс их формирования проходит в два этапа.

Этап 1. Активация способностей, когда «формируется активный комплекс взаимосвязанных способностей обучающегося, но не сформирована способность достигать результата при решении комплекса задач» – ключевого элемента компетенции как системы.

Этап 2. Интеграция способностей. Этот этап «характеризуется активными усилиями обучающегося, направленными на интеграцию способностей и формирование способности достигать результата деятельности. По мере достижения результатов деятельности происходит формирование компетенции как системы».

Проведенный анализ подходов к определению этапов формирования компетенций позволил выявить некоторые характерные особенности формирования компетенций, отражающие взаимосвязи этапов, а также их смысловое содержание. Их следует учитывать при проектировании ОПОП.

Во-первых, формирование компетенций ОПОП в целом необходимо планировать с учетом их логической взаимосвязи. Часть компетенций, относящихся в первую очередь к общекультурным и общепрофессиональным компетенциям, должна формироваться в начале обучения, а профессиональные и профессионально-специализированные компетенции – на завершающем его этапе. В этом случае этапы формирования компетенций целесообразно отображать в виде структурно-логических схем. Такие схемы формирования компетенций составят основу формирования матриц компетенций (МК) по каждой специальности. Макет матрицы компетенции показан на рис. 1.

Дисциплины и практики	Компетенции федерального государственного образовательного стандарта					Профессиональные компетенции квалификационных требований по видам военно-профессиональной деятельности		
	общекультурные		общепрофессиональные	профессиональные	профессионально-специализированные	служебная	эксплуатационная	военно-педагогическая
	ОК-1	...	ОПК...	ПК...	ПСК....	ВПК.ПК....		
Дисциплина 1								
Дисциплина 2								
Дисциплина 3								
Дисциплина 4								
.....								
Дисциплина N								
Количество дисциплин, формирующих компетенцию								
Семестр окончания формирования компетенции								

Рис. 1. Макет матрицы компетенций

В настоящее время МК, применение которых обосновано в рамках выполнения НИР «Контрагент-51» и «Профессионал-14», включены в состав ОПОП академии. Они обеспечивают реализацию междисциплинарного и модульного характера формирования компетенций посредством установления логической взаимосвязи формирования компетенций с учебными дисциплинами (практиками) учебного плана и тем самым определяют этапность формирования компетенций при освоении ОПОП в целом.

Во-вторых, формирование компетенций является результатом по отношению к процессу обучения, и в то же время рассматривается как самостоятельный процесс формирования способности субъекта деятельности [12] в ходе освоения учебного материала дисциплин. Следовательно, субстратом этих процессов может выступать содержание учебного материала ОПОП – для сложных (составных) компетенций или рабочих программ дисциплин (модулей), программ-практик – для простых компетенций.

Переходя от комплекса компетенций ОПОП к отдельной компетенции, формируемой рядом учебных дисциплин (практик) в соответствии с МК, можно определить этапы ее формирования в рамках изучения указанных учебных дисциплин. Междисциплинарный характер формирования компетенции предусматривает, что каждая дисциплина участвует в формировании определенной части сложной компетенции, составляющей ее этап. Каждому из этапов соответствует определенная совокупность знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, что достигается модульной структурой учебного материала дисциплин.

В качестве примера на рис. 2 показана последовательность (этапы) формирования общекультурной компетенции «Способность анализировать социально значимые явления и процессы, в том числе политического, экономического и правового характера, мировоззренческие и философские проблемы, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач».

	Семестры обучения						
	1	2	3	4	5	6	7
История	М.1						
Философия			М.3				
Социокультурные и политологические основы развития общества			М.4				
Правоведение							М.8
Экономика					М.5		
Организация работы с л/с в ВС РФ						М.6	
Управление подразделениями в мирное время				М.7			
Военная история	М.2						

Рис. 2. Последовательность (этапы) формирования общекультурной компетенции

Как видно из рис. 2, одна часть из восьми модулей (М1-М8) осваивается последовательно (в разных семестрах обучения), другая – одновременно (в одноименных семестрах обучения). В данном случае наряду с логической отражается календарная взаимосвязь в формировании компетенции за счет распределения модулей дисциплин по семестрам обучения, обеспечивающих поэтапное ее формирование.

В-третьих, формирование компетенции в рамках отдельной дисциплины (практики) определяется планируемыми результатами обучения, устанавливаемыми в рабочей программе учебной дисциплины – целевыми дескрипторами:

– «**знать**» – способностью воспроизвести учебный материал с требуемой степенью точности: сформулировать и записать закон, определение, с достаточной полнотой описать события, процесс;

– «**уметь**» – способностью применять полученные знания для решения стандартных

задач соответствующей сферы деятельности с возможным использованием справочной литературы;

– «**владеть**» – способностью без дополнительного справочного материала выполнять необходимые действия, переносить свои знания и умения в другую пограничную сферу деятельности, решать нестандартные задачи.

Формирование названных выше дескрипторов происходит в течение всего периода изучения дисциплины в рамках различных видов занятий и самостоятельной работы. То есть опосредованно указываются три этапа содержательного формирования компетенции в соответствии с целевыми дескрипторами.

Рассмотрим, как учитываются отмеченные выше особенности при планировании формирования установленной в квалификационных требованиях к выпускникам академии по служебной (повседневной и боевой) деятельности профессиональной компетенции ВПК.ПК-31 «Способен руководить повседневной деятельностью подразделения, организовывать и проводить мероприятия боевой подготовки, службы войск, организовывать ведение служебного делопроизводства и обеспечить защиту государственной тайны в подразделении, руководить ротным хозяйством» в учебной дисциплине «Управление подразделениями в мирное время». Логически формирование этой компетенции в части подготовки выпускника по служебной (повседневной и боевой) деятельности связано с формированием трех других компетенций:

1) ВПК.ПК-29 «Способен организовывать и непосредственно осуществлять планирование боевых действий (боевого применения) подразделения, в том числе с учетом опыта прошлых войн и вооруженных конфликтов, грамотно и четко ставить боевые задачи»;

2) ВПК.ПК-30 «Способен 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 восстановление боеспособности подчинённого подразделения»;

3) ВПК.ПК-32 «Способен применять положения общевоинских уставов в повседневной деятельности подразделения при организации жизни и быта военнослужащих, обеспечивать твердую воинскую дисциплину и поддержание внутреннего порядка в подразделении, нести службу в суточном, гарнизонном наряде и карауле, управлять строями подразделений, применять штатное стрелковое оружие».

Схематично логическая взаимосвязь формирования указанных компетенций показана на рис. 3.



Рис. 3. Логическая взаимосвязь формирования компетенций по служебной (боевой и повседневной) деятельности

Из рис. 3 видно, что компетенция ВПК.ПК-31 формируется на основе способностей, сформированных в рамках компетенции ВПК.ПК-32, которые дают возможность курсантам выполнять общие обязанности военнослужащего. В дальнейшем при формировании компетенции ВПК.ПК-31 указанные способности совершенствуются и на их основе формируются способности выпускника в части руководства повседневной деятельностью подразделения, необходимые для выполнения обязанностей на первоначальных офицерских должностях. Без приобретения способностей, определенных при формировании компетенций ВПК.ПК-31 и ВПК.ПК-32, невозможно дальнейшее развитие военно-профессиональных качеств, обусловленных формированием компетенций ВПК.ПК-30 и ВПК.ПК-29. При этом формирование

компетенции ВПК.ПК-29 рассматривается как завершающий этап формирования компетенций по служебной (повседневной и боевой) деятельности. Оценка уровня ее сформированности выносится на итоговый междисциплинарный экзамен государственной итоговой аттестации. Таким образом, при рассмотрении этапности формирования компетенций определены место компетенции ВПК.ПК-31 в структуре планируемых результатов освоения ОПОП и необходимость ее формирования в итоговой оценке военно-профессиональной подготовки выпускников академии. В соответствии с данной структурой формирования указанных компетенций в учебных планах планируются периоды изучения дисциплин, участвующих в формировании этих компетенций.

Матрицами компетенций по специальностям подготовки курсантов академии по программам специалитета определено, что формирование компетенции ВПК.ПК-31 обеспечивается дисциплиной «Управление подразделениями в мирное время» при участии раздела модуля «Общевойсковая подготовка», направленного на привитие курсантам навыков практического выполнения требований Общевоинских уставов Вооруженных Сил Российской Федерации. В связи с этим в структуре формирования компетенции ВПК.ПК-31 установлены взаимосвязь и этапы изучения разделов и учебных тем указанных учебной дисциплины и модуля.

Структурно-логическая схема изучения учебной дисциплины «Управление подразделениями в мирное время» с отображением ее взаимосвязи с модулем «Общевойсковая подготовка» и планируемых результатов обучения показана на рис. 4.

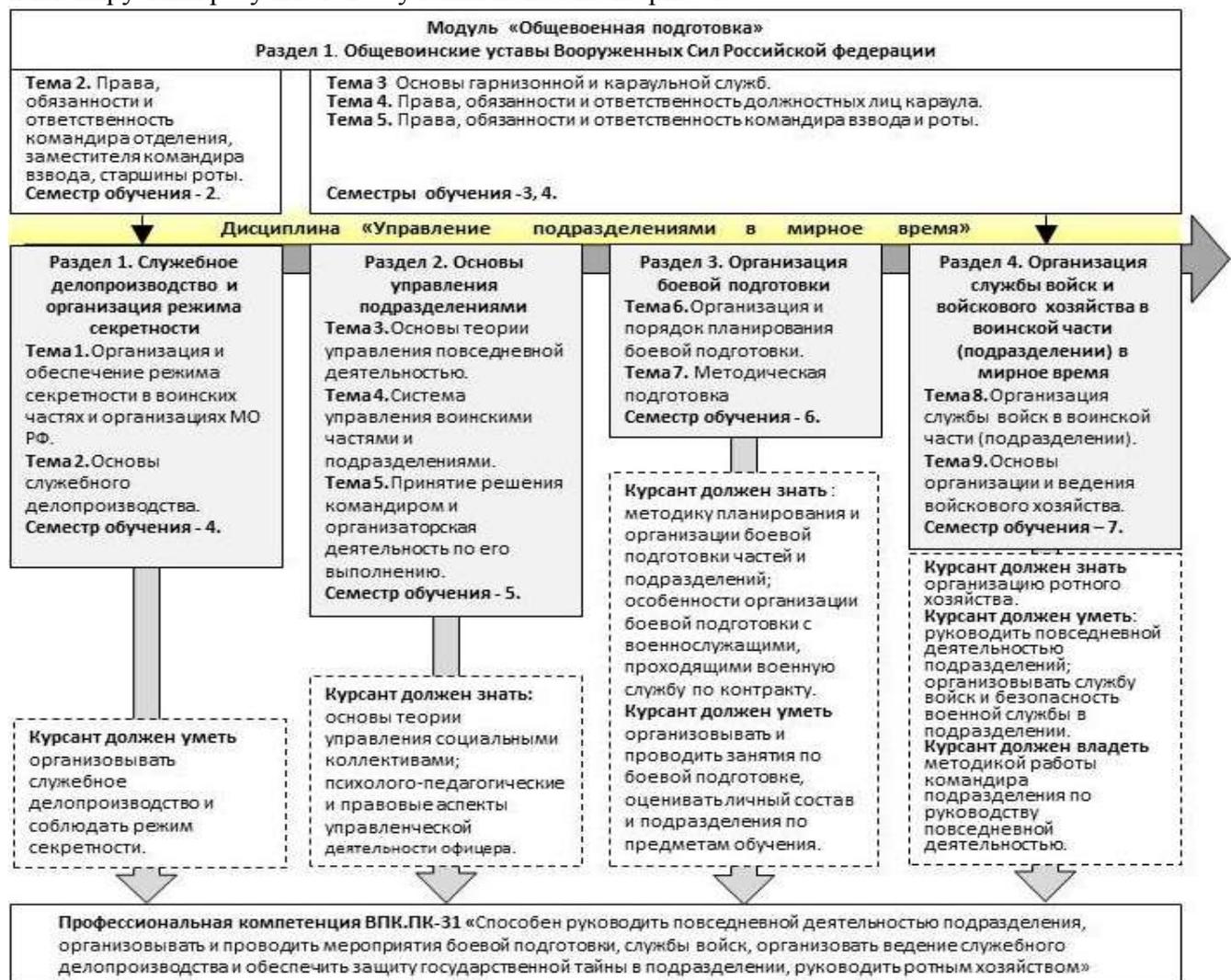


Рис. 4. Структурно-логическая схема изучения учебной дисциплины «Управление подразделениями в мирное время»

Из анализа структурно-логической схемы видно, что для нее можно выделить составные части компетенции, этапы ее формирования и характеризующие их соответствующие планируемые результаты освоения разделов и тем учебной дисциплины и модуля (знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности), что приведено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание и этапы формирования компетенции ВПК.ПК.31

Составная часть компетенции	Учебная дисциплина (модуль)	Семестры обучения	Планируемые результаты освоения разделов и тем учебной дисциплины и модуля			Этапы формирования компетенции
			знать	уметь	владеть	
Способен организовать ведение служебного делопроизводства и обеспечить защиту государственной тайны в подразделении	Общевойсковая подготовка	2	– общие обязанности военнослужащих, командиров и начальников; – ответственность, права и обязанности должностных лиц подразделений			I
	Управление подразделениями в мирное время	4	– требования нормативных правовых актов по организации служебного делопроизводства и соблюдению режима секретности	– организовывать служебное делопроизводство и соблюдать режим секретности		
Способен организовывать и проводить мероприятия боевой подготовки	Управление подразделениями в мирное время	5	– основы теории управления социальными коллективами; – психолого-педагогические и правовые аспекты управленческой деятельности офицера			II
		6	– методику планирования и организации боевой подготовки частей и подразделений; – особенности организации боевой подготовки с военнослужащими, проходящими военную службу по контракту	– организовывать и проводить занятия по боевой подготовке; – оценивать личный состав и подразделения по предметам обучения		III
Способен организовывать и проводить мероприятия службы войск, руководить ротным хозяйством, руководить повседневной деятельностью подразделения	Общевойсковая подготовка	4	– общие обязанности военнослужащих, командиров и начальников; – ответственность, права и обязанности должностных лиц подразделений	– использовать требования ОВУ ВС РФ при выполнении должностных и специальных обязанностей командира подразделения	методикой работы командира подразделения	IV
	Управление подразделениями в мирное время	7	– требования ОВУ ВС РФ и нормативных правовых актов МО РФ; – организацию ротного хозяйства	– организовывать службу войск и безопасность военной службы в подразделении; – руководить повседневной деятельностью подразделений	по руководству повседневной деятельностью	

По результатам анализа табл. 1 можно сделать следующие выводы.

1. Формирование профессиональной компетенции осуществляется в четыре этапа, в ходе 4-го, 5-го, 6-го и 7-го семестров обучения.

2. Результаты освоения раздела модуля лишь обеспечивают достижение результатов по освоению дисциплины «Управление подразделениями в мирное время», не являясь самостоятельным этапом формирования компетенции.

3. Некоторые составные части компетенции по достижению планируемых результатов «знать» и «уметь» являются самостоятельными и могут формироваться независимо друг от друга.

4. Достижение планируемого результата «владеть» по формированию составных частей компетенции возможно только по достижении всех предыдущих результатов («знать» и «уметь»).

Выполнение каждого этапа сопровождается оцениванием качества освоения учебного материала учебной дисциплины и формирования компетенции. С этой целью в фонде оценочных средств разработаны задания для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Для оценки результатов формирования компетенции на когнитивном уровне, исходя из содержательной части дескрипторов «знать» и «уметь», спланированы при рубежном контроле отчеты по выполнению заданий практических занятий, доклады на семинарах, решение летучек, а на промежуточной аттестации (зачет с оценкой) – теоретические вопросы и решение практических задач по всему учебному материалу дисциплины.

Исходя из вышеизложенного, *этапы формирования компетенций* могут быть определены как *периоды процесса освоения отдельных, логически завершенных по содержанию блоков (разделов, тем) учебного материала дисциплины (модуля) или материала рабочих программ дисциплин (модулей), программ практик в целом, обеспечивающего достижение планируемых результатов обучения и освоения образовательной программы.*

Вместе с тем в целях совершенствования организации разработки рабочих программ дисциплин (модулей) и повышения их качества для сложных (составных) компетенций выпускающим кафедрам рекомендуется разрабатывать карты компетенций. Карта компетенции определяет требования к формированию каждого модуля (составная часть компетенции и характеризующие ее планируемые результаты обучения: знать, уметь, владеть) и последовательность их формирования. При этом количество модулей в компетенции и последовательность их формирования определяются совместным решением кафедр, отвечающих за изучение учебных дисциплин (практик). Карты целесообразно оформлять на каждую компетенцию также в целях утверждения согласованного решения кафедр. Макет карты компетенции показан на рис. 5.

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

Вид компетенция (общекультурная, профессиональная и т.д.)

индекс компетенции наименование компетенции

1. Составные части и компоненты компетенции

Учебная дисциплина (практика, стажировка)	Индекс модуля компетенции	Составная часть и основное содержание компонентов компетенции		
		Составная часть: <i>способен</i>		
		компонент « <i>знать</i> »	компонент « <i>уметь</i> »	компонент « <i>владеть</i> »
	

2. Этапы формирования компетенции

Учебная дисциплина (практика, стажировка)	Индекс модуля компетенции	Семестры обучения									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рис. 5. Макет карты компетенции

Таким образом, предложенный подход к планированию этапов формирования компетенций при проектировании основных профессиональных образовательных программ позволяет определить место каждой компетенции в требованиях по их освоению, выявить содержательную взаимосвязь учебных дисциплин в процессе формирования каждой компетенции, а также установить дисциплинарные дескрипторы, отражающие этапы формирования компетенции в учебной дисциплине.

Список используемых источников

1. Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 декабря 2013 г. № 1367 (в ред. Приказа Минобрнауки России от 15.01.15 № 7). Зарегистрировано в Минюсте России 24.02.2014 № 31402). – URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=175362> (дата обращения: 12.02.2016).
2. Макет федерального государственного образовательного стандарта (бакалавриат, специалитет, магистратура) / Федеральный портал Российское образование. – URL: <http://www.edu.ru/db/portal/spe/3v/220207m.htm> (дата обращения: 12.05.2017).
3. *Азарова Р.Н., Золотарева Н.М.* Разработка паспорта компетенции: методические рекомендации для организаторов проектных работ и профессорско-преподавательских коллективов вузов. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов. Координационный совет учебно-методических объединений и научно-методических советов высшей школы, 2010. – 52 с. – URL: <http://window.edu.ru/resource/532/78532/files/azarova.pdf> (дата обращения: 04.05.2016).
4. Методические рекомендации для преподавателей по разработке паспорта компетенций / ФГБОУ ВПО «Бурятский государственный университет». – Улан-Удэ, 2014. – URL: <http://www.bsu.ru/metodicheskie-rekomendacii-po-razrabotke-pasporta-kompetencii.doc> (дата обращения: 04.05.2016).
5. Большой энциклопедический словарь. – URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/338446> (дата обращения: 12.05.2017).
6. *Ожегов С.И.* Словарь русского языка / под ред. чл.-корр. АН СССР Н.Ю. Шведовой. – 20-е изд., стереотип. – М.: Рус. яз., 1988. – 750 с.
7. *Копица О.Ю.* Проектирование процесса формирования и оценки профессиональных компетенций у бакалавров автоматизации технологических процессов и производств // Вектор науки ТГУ. – 2013. – № 2 (24). – URL: http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site3456/html/media91589/87Copsha.pdf (дата обращения: 04.05.2016).
8. *Матушкин Н.Н., Пахомов С.И., Столбова И.Д.* Формирование компетенций выпускника вуза на основе процессного подхода. – URL: <http://ecsocman.hse.ru/data/2011/07/27/1267425572/2011-1-8.pdf> (дата обращения: 30.03.2016).
9. Рабочая программа дисциплины (модуля) / ФГБОУ ВПО «Костромской государственной университет имени Н.А. Некрасова». – Кострома, 2014. – URL: <http://ksu.edu.ru/attachments/article/484....pdf> (дата обращения: 30.03.2016).
10. Основная образовательная программа высшего образования. Направление подготовки 08.03.01 «Строительство». Профили подготовки: «Теплогазоснабжение и вентиляция» / сост. А.В. Турков, В.П. Горшенин / ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс». Архитектурно-строительный институт. – Орел, 2015. – URL: <http://oreluniver.ru/edu/programs/08.03.01/481/TVp.pdf> ...08.03.01/481/TVp.pdf (дата обращения: 21.08.2016)
11. Приложение 1 к рабочей программе дисциплины «Философия права» для студентов направления 40.03.01 «Юриспруденция» / сост. Н.О. Мартиросян / Институт сферы обслужи-

вания и предпринимательства (филиал) ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет». – Шахты, 2014. – URL: http://www.sssu.ru/rpd/40.03.01..._1.pdf (дата обращения: 35.05.2016).

12. *Пермяков О.Е., Менькова С.В.* Диагностика формирования профессиональных компетенций. – М.: ФИРО, 2010. – 114 с. – URL: <http://pst.sampo.ru/inc/pst/uf/editor/Prepodu/Diagnostika.pdf> (дата обращения: 30.03.2016).

М.А. Горшков,

кандидат педагогических наук;

С.Ю. Окунев,

кандидат исторических наук, доцент

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ И СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ КУРСАНТОВ ВОЕННОГО ВУЗА В ХОДЕ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ВОЕННАЯ ИСТОРИЯ»

В публикации на основе анализа ряда законов и законодательных актов показана смена субъектов патриотического воспитания в Российской Федерации, рассмотрены особенности содержания патриотического воспитания в военной структуре государства и в военном вузе, показано влияние содержания учебной дисциплины «Военная история» на формирование патриотизма курсантов.

Ключевые слова: патриотизм, патриотическое воспитание, государственно-патриотическое воспитание, воинское воспитание, курсанты военного вуза, военная история.

Одной из важнейших задач современной высшей школы является патриотическое воспитание подрастающего поколения. Конечно, будущие курсанты при поступлении в военный вуз проходят профессиональный психологический отбор, предполагающий наличие у них высокого уровня патриотизма. Но воспитание является процессом непрерывным и постоянным, поэтому в военной академии формирование патриотических качеств личности курсантов продолжается. Высокая эффективность патриотического воспитания при этом в том числе достигается в ходе изучения учебной дисциплины «Военная история».

Общепринято понимать патриотизм как любовь к Родине, готовность к самопожертвованию во имя ее. Во многом это соответствует выверенным словарным определениям.

В частности, в толково-словообразовательном словаре Ефремовой Т.Ф. дается следующее определение. «Патриотизм – любовь к своему Отечеству, преданность своему народу и ответственность перед ним, готовность к любым жертвам и подвигам во имя интересов своей Родины» [1]. В целом в определении патриотизма как любви, преданности и привязанности к Отечеству, своему народу превалирующее число авторов солидарно.

Гораздо более подробно раскрывает рассматриваемое понятие Военный энциклопедический словарь. «Патриотизм – любовь к Родине, своему народу, преданность им, стремление своими действиями служить их интересам. Будучи одной из наиболее значимых ценностей общества, он интегрирует в своем содержании социальные, политические, духовно-нравственные, культурные, исторические и другие компоненты. Как правило, патриотизм выступает фактором консолидации, сплочения различных социальных, национальных, религиозных и других групп соотечественников. Важнейшую сторону патриотизма составляет убеждение в необходимости всесторонней, в том числе военной защиты Отечества. Его практическим выражением выступает морально-психологическая готовность населения к отражению возможной внешней агрессии, забота общества о Вооруженных Силах страны» [2]. Это определение, на наш взгляд, является наиболее полным и точным в русле формирования патриотизма в военном вузе, в первую очередь благодаря акценту на вооруженной защите Отечества. Кроме того, здесь наглядно показана и комплексность самого понятия, и роль патриотизма в консолидации общества.

Понимание важности повышения уровня патриотизма граждан страны находит отражение в нормативно-правовых актах федерального уровня. С 2001 года Правительство Российской Федерации с периодичностью в пять лет принимает Постановления «О государственной программе "Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации"».

Анализ Программ разных лет позволяет увидеть произошедшие со временем изменения в определении субъектов патриотического воспитания.

Так, государственная программа «Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации на 2001–2005 годы» определяет патриотическое воспитание как «систематическую и целенаправленную деятельность органов государственной власти и организаций по формированию у граждан высокого патриотического сознания, чувства верности своему Отечеству, готовности к выполнению гражданского долга и конституционных обязанностей по защите интересов Родины» [3].

Согласно государственной программе «Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации на 2016–2020 годы», патриотическое воспитание представляет собой «систематическую и целенаправленную деятельность органов государственной власти, институтов гражданского общества и семьи по формированию у граждан высокого патриотического сознания, чувства верности своему Отечеству, готовности к выполнению гражданского долга и конституционных обязанностей по защите интересов Родины» [4].

Таким образом, видно, что функция патриотического воспитания переходит от организаций к институтам гражданского общества и семье. Вполне вероятно, это обусловлено тем, что развитие гражданского общества достигло определенной ступени, на которой указанная функция эффективно реализуется. Аналогично можно сказать и о возросшем воспитательном потенциале семьи. Возможно, укреплены нравственные идеалы старшего поколения, пошатнувшиеся после распада Советского Союза и пересмотрена система ценностей тех лет.

Существуют различия патриотического воспитания военнослужащих в армии и граждан при подготовке к службе в ней. Так, в Федеральном законе «О воинской обязанности и военной службе» [5] одним из элементов обязательной подготовки гражданина к военной службе указывается военно-патриотическое воспитание граждан. Организацией данного вида патриотического воспитания гражданина до прохождения им военной службы занимаются органы местного самоуправления, в том числе при реализации федеральных программ на местах. При этом само понятие военно-патриотического воспитания в документе не раскрывается и можно только предположить, что законодатель подразумевал под ним близкое к предлагаемому военным энциклопедическим словарем определению – «целенаправленное формирование у граждан страны любви к Родине, готовности к ее вооруженной защите» [2]. Порядок патриотического воспитания военнослужащих данный закон не рассматривает, хотя это выглядело бы логично и последовательно исходя из его названия.

При рассмотрении же осуществления патриотического воспитания непосредственно в ходе военной службы в Вооруженных силах Российской Федерации и, в частности, в военном вузе необходимо остановиться на нескольких моментах.

Осенью 2016 года утратил силу Приказ МО РФ №70 от 2004 года [6], введший в действие Концепцию воспитания военнослужащих. Анализ ныне отмененного документа позволяет увидеть, что патриотическое воспитание следовало в основном осуществлять в рамках двух видов – государственно-патриотического и воинского. На наш взгляд, такое разделение было обоснованным. Кроме того, оба понятия раскрывались и были указаны направления, входившие в каждый вид. В государственно-патриотическом воспитании именно военная составляющая была обозначена недостаточно явно, поэтому предусматривался и второй вид воспитания, в котором был сделан акцент на вооруженной защите, характерной функции военнослужащих. Таким образом, прослеживалась преемственность от военно-патриотического воспитания, но при этом обеспечивалась большая детализированность видов в целях практического применения. Необходимо отметить, что на важность реализации принципа гражданско-патриотической и военно-профессиональной направленности воинской деятельности указывает ряд авторов [7].

Следует отметить, что Концепция и вводилась как документ временный, «переходного периода». При этом основной целью Концепции заявлялось «... определение содержания, места и роли системы воспитания военнослужащих в осуществлении государственной поли-

тики в области военного строительства...». И как раз связь с государственной политикой в рассматриваемой нами области новый Приказ МО РФ № 655 [8], определяющий основы организации работы с личным составом, подчеркивает. Предусматривается «В целях формирования государственно-патриотического сознания личного состава ... выполнение мероприятий в Вооруженных Силах государственных программ патриотического воспитания в области патриотического воспитания граждан Российской Федерации». Таким образом, очевидно, что патриотическое воспитание военнослужащих теперь гармонично включено в реализацию программ, упоминаемых нами в настоящей публикации выше.

Положительным в новом приказе является то, что он определяет конкретные направления мероприятий, проводимых в целях государственно-патриотического воспитания. Однако при этом само его определение не раскрывается. Более того, в документе отсутствует как определение воинского воспитания, так и его содержание и мероприятия, осуществляемые в его интересах. Приходится только предполагать, что данные понятия могли претерпеть ряд изменений, и понятие государственно-патриотического воспитания стало шире, включая теперь формирование патриотической основы именно вооруженной защиты Отечества.

Коррелируют с указанными изменениями в законодательстве, определяющем вопросы работы с личным составом в вооруженных силах в целом, законодательные основы патриотического воспитания в военном вузе.

Так, согласно Приложению №2 Приказа МО РФ №670 одной из главных задач военно-учебного заведения является «формирование у обучающихся государственно-патриотического сознания, воспитание их в духе верности России, конституционному долгу, гордости за принадлежность к Вооруженным Силам Российской Федерации...» [9].

Порядок именно воинского воспитания в военном вузе в прямой постановке не был определен и ранее. Близкими по содержанию могли быть и являются на данный момент времени задачи воспитательной работы, указанные в ст. 63 упомянутого Приложения. Анализ задач позволяет увидеть реализацию именно воинского воспитания как основу готовности к вооруженной защите. В частности, одной из задач указывается формирование и развитие у переменного и постоянного состава воинского долга.

Сразу же необходимо указать, что в ходе каждого учебного занятия достигаются не только учебные, но и воспитательные цели. Государственно-патриотическое воспитание находит свое отражение в воспитательных целях различных видов занятий по многим учебным дисциплинам, в первую очередь по «Военной истории».

Таким образом, особенностью патриотического воспитания в Вооруженных силах и, в частности, в военном вузе является то, что оно происходит в основном в виде государственно-патриотического воспитания. В военной академии патриотизм формируется комплексно как в ходе различных воспитательных мероприятий, так и в ходе учебных занятий, что находит свое обязательное отражение в реализации воспитательных целей учебного занятия.

Как государственной Программой, так и ведомственными руководящими документами предусмотрено в целях формирования государственно-патриотического воспитания использовать воспитательный потенциал ритуалов, воинских традиций.

Изучение военной истории позволяет понять, что многие из воинских традиций и ритуалов имели в прошлом практические основы.

К примеру, количество залпов салюта, количество выстрелов в залпах имело и имеет строгую регламентацию. Первоначально эти числа соотносились с числом орудий на одном борту корабля.

Количество залпов и орудий первого салюта, произведенного в ходе Великой Отечественной войны в честь героизма советских воинов при освобождении Орла и Белгорода в Курской битве, также легло в основу современной классификации салютов. И поэтому для военнослужащего, который знает смысл содержания каждого типа салюта, это уже не просто светозвуковое мероприятие. Видя салют, он вспоминает военно-исторические события, ко-

торым посвящен данный салют и ряд других, в честь которых производятся салюты той же категории, испытывает при этом патриотический подъем.

Стяги или боевые знамена первоначально использовались в качестве средства управления войсками в битвах. В сражении воины полка объединялись под знаменем, в том числе, чтобы дать свой последний бой. Чувство войскового товарищества благодаря этому крепло. Понимание консолидирующего значения стяга в прошлом способствует осознанию в наши дни того, что люди, находящиеся под одним с военнослужащим Боевым Знаменем в случае необходимости встанут единой непреодолимой стеной.

Примеры самоотверженности бойцов Красной Армии, выносивших из окружения буквально на себе Боевое Знамя воинской части, формируют патриотизм в огромной степени.

В военном вузе курсанты, в частности, на занятиях по учебной дисциплине «Военная история», изучают Дни воинской славы. При этом акцент делается не только на знании даты и названии события, но и на массовом героизме целых подразделений, самоотверженности армий. Рассматриваются при этом и действия находившихся там конкретных личностей, их полководческое искусство или героические поступки. Такие примеры однозначно способствуют формированию патриотизма.

При изучении истории, в том числе Великой Отечественной войны, в ходе рассмотрения вопросов, предусмотренных федеральным государственным образовательным стандартом и квалификационными требованиями, курсантам предлагается готовить и выступления, посвященные их родственникам и землякам – участникам рассматриваемых событий. Аналогично, курсанты, призванные из местностей, где боевые действия происходили, готовят соответствующие тематические доклады. Таким образом, осуществляется сохранение памяти о подвигах защитников Отечества. Но и сами обучающиеся начинают более трепетно относиться к своей «малой Родине».

Безусловно, изучение Великой Отечественной войны 1941–1945 годов является неисчерпаемой основой патриотического воспитания. Но и новейшая история, буквально «история сегодняшнего дня», дает нам опору для формирования патриотизма. Это, к примеру, высокопрофессиональные действия Воздушно-космических сил России в операции по примирению враждующих сторон на территории Сирийской Арабской Республики. При этом мы видим и результаты Программы перевооружения Вооруженных сил Российской Федерации, осуществляемой в настоящее время, достойные заслуженной гордости.

Таким образом, в курсе «Военная история» важным является не только анализ непосредственно самих событий, как проявлений военного искусства, но и их патриотическая составляющая. Тем более, что реализация многих замыслов военного руководства была бы невозможна без высокого патриотизма солдат и офицеров.

В ходе патриотического воспитания необходимо обратить внимание на то, что при этом недопустимым является одностороннее рассмотрение военной истории. Результатом искажения в свою пользу могут стать «шапкозакидательские настроения», представления о мнимом превосходстве. Так было во время Русско-японской войны 1904–1905 годов, когда появился этот фразеологизм, так было на первом этапе Советско-финляндской войны 1939–1940 годов. И в обоих случаях это привело к большим людским потерям с нашей стороны. Кроме того, особенно во время Русско-японской кампании, был нанесен удар по оценке обороноспособности страны и по патриотизму.

Но в то же время нельзя доходить до другой крайности – до самоуничужения, делать выводы о своей недееспособности. Это может деморализовать военнослужащих и привести к неспособности противостоять противнику, которого возможно победить имеющимися силами.

В целом патриотизм не может быть построен на лжи. Ведь история всё расставит по своим местам, и тогда опора идеалов миллионов людей может рухнуть. Но стоит отметить, что Россия всегда «брала реванш» в случае внешнеполитических неудач. И на занятиях по военной истории даже негативные события рассматривать необходимо.

В курсе учебной дисциплины «Военная история» рассматривается и военно-блоковое противостояние XX века. Одним из выводов в данном случае может стать мысль, что нецелесообразно в основу формирования патриотизма закладывать негативные отношения к другим государствам. Ведь при улучшении международных отношений «образ врага» разрушается и патриотизм, основывающийся на нем, теряет опору, происходит дезориентация общества. В целом «поиск внешнего врага» говорит скорее о внутренних проблемах государства, что мы можем наблюдать в настоящее время в политике ряда ведущих стран мира. Поэтому патриотизм целесообразно базировать на созидательной деятельности. В том числе, конечно, на укреплении обороноспособности страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно сказать, что патриотическое воспитание в Вооруженных силах Российской Федерации, в военных вузах страны имеет мощную нормативно-правовую базу. Однако, на наш взгляд, понятие «государственно-патриотическое воспитание» требует уточнения в целях улучшения процесса воспитания военнослужащих именно как основы готовности к вооруженной защите государства.

Государственно-патриотическое воспитание, безусловно, в том числе при изучении дисциплины «Военная история» в военном вузе, способствует формированию патриотизма курсантов. Это происходит не только при изучении славных страниц нашей военной истории, но и при изучении ошибок прошлого. И нельзя не гордиться тем, что первых подавляющее большинство.

Список используемых источников

1. *Ефремова Т.Ф.* Новый словарь русского языка: толково-словообразовательный. – М.: Русский язык, 2000.
2. Военный энциклопедический словарь. – М.: Эксмо, 2007. – 1024 с.
3. О государственной программе "Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации на 2001–2005 годы": Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2001г. № 122 // Собрание законодательства РФ. – 2001. – №9. – URL: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1002001009000&docid=43> (дата обращения: 08.02.2017).
4. О государственной программе "Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации на 2016–2020 годы": Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2015г. № 1493 // Собрание законодательства РФ. – 2016. – №2. – URL: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1002016002010&docid=51> (дата обращения: 05.02.2017).
5. О воинской обязанности и военной службе (с последующими изменениями и дополнениями): федеральный закон Ф3-53 от 28 марта 1998 г. // Собрание законодательства РФ. – 1998. – №13. – URL: <http://www.szrf.ru/szrf/doc.phtml?nb=100&issid=1001998013000&docid=1373> (дата обращения: 11.02.2017).
6. Об органах воспитательной работы Вооруженных Сил Российской Федерации: Приказ МО РФ 70 от 11 марта 2004 г. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=526227#0> (дата обращения: 11.02.2017).
7. Военная педагогика: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Питер, 2017. – 640 с.

8. Об организации работы с личным составом в Вооруженных Силах Российской Федерации: Приказ МО РФ 655 от 12 сентября 2016 г. – URL:<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=680435#0> (дата обращения: 11.02.2017).

9. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации": Приказ МО РФ 670 от 15.09.2014. – Российская газета. – 2014. – № 298 от 30 декабря.

Н.С. Кужекин,
кандидат философских наук, профессор;
Н.В. Курдай,
кандидат военных наук, доцент;
А.Б. Пауков,
кандидат военных наук, доцент

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ КУРСАНТОВ В ХОДЕ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В публикации проанализированы состояние работы по формированию у курсантов командно-методических навыков и проблемы, связанные с этим видом деятельности. Сформулированы предложения, направленные на улучшение методической подготовленности обучающихся в ходе освоения основной профессиональной образовательной программы.

Ключевые слова: методическая подготовленность, командно-методические навыки, основная профессиональная образовательная программа.

В настоящее время в Вооруженных силах Российской Федерации внедряются новые подходы к организации обучения слушателей и курсантов, вырабатывается единая идеология формирования содержания и организации обучения в военно-учебных заведениях. В ее основу положены главные критерии качества подготовки: высокий военный профессионализм (компетентность) и методическое мастерство [1].

Одной из задач подготовки офицеров для замещения первичных офицерских должностей является формирование у курсантов военно-учебных заведений методической подготовленности, главной частью которой являются командно-методические навыки.

В академии неоднократно обращались к вопросу формирования и совершенствования командно-методических навыков у курсантов и слушателей, повышения качества их методической подготовленности. В связи с этим сложилась система методической подготовки, в основу которой положены следующие исходные положения:

- 1) процесс формирования командно-методических навыков должен быть непрерывным в течение всего времени обучения в академии;
- 2) формирование командно-методических навыков должно проводиться в течение общего бюджета учебного времени, установленного основной профессиональной образовательной программой.

При освоении основной профессиональной образовательной программы методическая подготовленность формируется в основном при изучении семи учебных дисциплин (модулей), войсковой стажировки, военно-профессиональных практик. На их изучение курсантам, обучающимся по программам специалитета, отводится около 40–43 зачетных единиц, что составляет 1440–1548 часов [2].

На первый взгляд учебного времени достаточно, однако анализ рабочих программ и тематических планов изучения учебных дисциплин показывает, что на методическую подготовку курсантов отводится всего 10–13% учебного времени, а в таких учебных дисциплинах, как «Инженерная подготовка» и «Военная топография» время на нее вообще не предусматривается [3].

При изучении дисциплины «Управление подразделениями в мирное время» на методическую подготовку отводится 10 часов (13,8%).

При освоении модуля «Общевойсковая подготовка» методической подготовке посвящены 28 часов (22,2%).

Из 648 учебных часов с преподавателем, отведенных на дисциплину «Физическая культура (физическая подготовка)», методической подготовкой курсанты занимаются 66 часов (10,1%).

Дисциплина «Радиационная, химическая и биологическая защита» – из 102 учебных часов с преподавателем на методическую подготовку отводится 10 часов (9,8%).

Дисциплина «Организация работы с личным составом в Вооруженных Силах Российской Федерации» – из 72 учебных часов с преподавателем на методическую подготовку отводится 10 часов (13,8%).

Формирование командно-методических навыков осуществляется в несколько этапов.

На начальном этапе (общевоинская подготовка) формируются навыки, необходимые при выполнении задач в повседневной деятельности, в том числе при обращении с оружием, военной и специальной техникой [5].

На первом этапе (1 и 2 семестры) осуществляются:

- обучение курсантов по общевоинским учебным дисциплинам и формирование у них навыков для выполнения требований Общевоинских уставов Вооруженных Сил Российской Федерации в повседневной деятельности в объеме требований, предъявляемых к курсанту;
- привитие первичных командных навыков при несении службы в составе суточного наряда и выполнение элементов распорядка дня;
- привитие навыков общения, работы по укреплению воинской дисциплины в подразделении.

На втором этапе (3 и 4 семестры) осуществляются:

- подготовка курсанта к исполнению обязанностей командира отделения, заместителя командира взвода, совершенствование ранее полученных навыков;
- привитие курсантам первичных навыков в руководстве подчиненными и принятии решений;
- привитие навыков общения, изучения индивидуально-психологических особенностей подчиненных, работы по поддержанию воинской дисциплины и правопорядка в подразделении.

На третьем этапе (5, 6, 7, 8 и 9 семестры) осуществляются:

- подготовка курсанта к исполнению обязанностей начальника расчета, командира взвода, роты, совершенствование ранее полученных навыков;
- совершенствование навыков самостоятельной работы курсантов по повышению (поддержанию) своей подготовленности на уровне требований, предъявляемых к военнослужащим, проходящим службу по контракту;
- формирование у курсантов навыков управления воинским коллективом и руководства повседневной деятельностью подчиненных, подготовки и проведения занятий по предметам обучения;
- привитие навыков общения, изучения индивидуально-психологических особенностей личности военнослужащего, организации и проведения воспитательных мероприятий, работы по поддержанию крепкой воинской дисциплины, высокого морально-психологического состояния личного состава и сплочения воинского коллектива, индивидуально-воспитательной работы.

Анализ уровня методической подготовленности показывает, что курсанты академии в целом имеют базовые знания о целях и задачах методической подготовки, алгоритме подготовки, формах и методах проведения занятий, правильно понимают роль и место методической подготовки в системе преподаваемых им учебных дисциплин.

Проведенные контрольные практические занятия по учебным дисциплинам «Строевая подготовка» на тему «Одиночная строевая выучка. Строевые приемы и движения без оружия» и «Огневая подготовка из стрелкового оружия» на тему «Порядок выполнения 1-го упражнения учебных стрельб» показали, что курсанты имеют удовлетворительные методические навыки и умения, способны организовать и провести занятия. При этом курсанты 3 курса по-

казывают более уверенные знания и умения о порядке подготовки и проведения занятий в сравнении с курсантами 4 курса. Вместе с тем уровень методической подготовленности курсантов старших курсов по предметам общевойсковой подготовки снижается.

По нашему мнению, причинами низкого уровня методической подготовленности курсантов являются:

- разрозненность методической подготовки между выше указанными дисциплинами;
- значительное уменьшение количества учебного времени на старших курсах, отведенного на методическую подготовку. Основное время на формирование методической подготовки отводится на третьем курсе. В шестом семестре обучения закладываются теоретические основы методической подготовки при изучении учебной дисциплины «Управление подразделениями в мирное время» [3]. Курсанты приступают к изучению методики подготовки и проведения занятий, учатся разрабатывать план-конспекты и самостоятельно проводить занятия (2 часа лекций, 8 часов практических занятий). Далее методическая подготовленность курсантов совершенствуется в ходе самостоятельного проведения занятий при изучении модуля «Общевойсковая подготовка» [3] в шестом семестре – 6 часов, седьмом семестре – 8 часов, восьмом семестре – 10 часов, девятом семестре – 4 часа;
- снижение мотивации к совершенствованию личной методической подготовленности. Изучение учебной дисциплины «Управление подразделениями в мирное время» завершается зачетом с оценкой в седьмом семестре;
- недостаточно внимания уделяется привитию командно-методических навыков в повседневной деятельности.

В целях улучшения качества методической подготовленности выпускников академии представляется целесообразным:

- придать методической подготовке целевой характер путем разработки Методических рекомендаций по формированию у курсантов командно-методических навыков и навыков воспитательной работы в ходе выполнения основной профессиональной образовательной программы;
- восстановить практику разработки и реализации Комплексного плана формирования командно-методических навыков и навыков воспитательной работы по всем специальностям подготовки и включить его в перечень компонентов основной профессиональной образовательной программы;
- систему методической подготовки совершенствовать на следующих мероприятиях: проведение занятий курсантами по предметам общевойсковой подготовки; выполнение должностных обязанностей в ходе войсковой стажировки, ротных тактических учений, комплексных тактико-специальных учений, учебных занятий по дисциплинам, где предусматривается работа в составе групп и расчетов, а также помощников руководителей занятий; формирование командно-методических навыков и навыков воспитательной работы в ходе повседневной деятельности;
- объединить существующие разрозненно в различных учебных дисциплинах элементы методической подготовки в одном модуле «Методическая подготовка», который включить в учебную дисциплину «Управление подразделениями в мирное время» (исключить соответствующие планируемые результаты обучения из учебных дисциплин «Радиационная, химическая и биологическая защита», «Инженерная подготовка», «Военная топография», «Организация работы с личным составом в Вооруженных Силах Российской Федерации»);
- восстановить учет, контроль и оценку уровня методической подготовленности курсантов в ходе изучения профильных учебных дисциплин;
- привлекать курсантов старших курсов к выполнению обязанностей командиров учебных групп и командиров отделений на первом курсе. В настоящее время эти обязанности исполняют первокурсники, которые не обладают знаниями и навыками управления подразделением;

– привлекать курсантов к проведению различных видов занятий, тренировок и тренажей в ходе войсковой стажировки с обязательной оценкой уровня методической подготовленности курсанта и отражением их результатов в отзыве на выпускника.

Таким образом, повышение качества методической подготовленности выпускников академии позволит развивать командно-методические навыки, которые будут охватывать важнейшие стороны деятельности выпускника, относящиеся к управлению подразделением в ходе повседневной деятельности, организации эксплуатации в подразделении вооружения и военной техники, организации обучения и воспитания личного состава.

Список используемых источников

1. Наставление по боевой подготовке в Вооруженных Силах Российской Федерации. Утверждено и введено в действие приказом Министра обороны Российской Федерации 2013 г. № 760. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва, 2014. – 326 с.

2. Учебный план Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по специальности 24.06.06 «Системы управления летательными аппаратами». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 20 с.

3. Сборник рабочих программ Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по специальности 24.06.06 «Системы управления летательными аппаратами». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 386 с.

4. Комплексный план формирования командно-методических навыков и навыков воспитательной работы у курсантов военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 15 с.

5. Положение об организации и проведении общевойсковой подготовки курсантов первого курса Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 186 с.

6. *Багрецов С.А., Воронков И.Ю., Мищенко Э.В.* Комплекс методик выбора оптимальных вариантов обучения на этапе ввода в строй выпускников вузов Министерства обороны РФ, офицеров, призванных из запаса и переведенных из других видов Вооруженных сил и родов войск // Вестник военного образования. – 2016. – № 2(2). – С. 44–50.

7. *М.М. Пеньков* Внедрение новых образовательных технологий в учебный процесс подготовки офицеров Космических войск в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского // Вестник военного образования. – 2017. – № 3(5). – С. 44–50.

Н.С. Кужекин,
кандидат философских наук, профессор;
Н.А. Репях,
кандидат философских наук, доцент;
А.Н. Хрустова

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ В ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

В публикации рассмотрены актуальные проблемы разработки дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки педагогических работников, определены цели ее освоения и уровни обученности, требования к образовательным технологиям.

Ключевые слова: программа профессиональной переподготовки, компетенция, уровни обученности, образовательные технологии.

В настоящее время в образовательных организациях МО РФ функционирует система подготовки педагогических кадров, позволяющая в целом удовлетворять потребности в профессорско-преподавательском составе. Важной ее составляющей выступает комплектование преподавательского состава офицерами, проходившими службу в войсках.

Министр обороны РФ требует, чтобы офицеры, впервые назначенные на должности преподавателей и не проходившие обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в адъюнктуре, в течение первого года после назначения на должность направлялись на обучение по программам профессиональной переподготовки, обеспечивающим получение ими компетенций, необходимых для нового вида профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы [1]. Обладая большим практическим опытом службы в войсках, большинство офицеров не имеют базового педагогического образования и поэтому испытывают трудности при решении инновационно-педагогических задач.

С 1 января 2017 года введен в действие профессиональный стандарт «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования» (далее – Профессиональный стандарт), требования которого должны быть учтены при организации профессиональной переподготовки и повышения квалификации педагогических работников [4]. Это требует как переосмысления накопленного в академии и на кафедре опыта, так и выработки новых подходов к содержанию и организации подготовки педагогических кадров в высшей военной школе в контексте новых реалий и нормативно-правовой базы.

В академии разработана дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки. В ходе разработки дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки были решены методологические задачи:

- описаны на основе компетентностного подхода цели освоения дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки (указано, какие компетенции должны быть сформированы у обучающихся);
- названы планируемые результаты обучения – знания и умения, характеризующие этапы формирования компетенций;
- определены дисциплинарное содержание дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки и роли каждой дисциплины в формировании компетенций;

– сформулированы требования к образовательным технологиям в условиях сокращения времени на освоение программы.

Дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки преследует цель формирования компетенций, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы, а также подготовку вновь назначенных преподавателей к образовательной, методической и научной деятельности в образовательных организациях высшего образования МО РФ в рамках имеющейся квалификации.

В Профессиональном стандарте компетенции в явном виде не выражены. Потому их формализация была проведена на основе анализа трудовых функций, а также обеспечивающих их трудовых действий, необходимых умений и необходимых знаний [4].

На наш взгляд, в результате освоения дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки у обучающихся должны быть сформированы следующие профессиональные компетенции:

– способность организовывать образовательную деятельность в соответствии с законодательством РФ на основе современных достижений психолого-педагогической науки и практики, технологий в конкретной отрасли знания и предметной области;

– способность проектировать образовательный процесс в целом и отдельные учебные занятия как часть целого на основе системно-деятельностного и компетентностного подходов;

– способность планировать результаты образовательной деятельности и разрабатывать в соответствии с ними контрольно-измерительные материалы и другие оценочные средства;

– способность обоснованно выбирать и эффективно использовать образовательные технологии, методы и средства обучения с целью обеспечения планируемого уровня личностного и профессионального развития обучающихся;

– способность разрабатывать комплексное методическое обеспечение преподаваемых учебных дисциплин;

– способность использовать в образовательной деятельности электронные образовательные и информационные ресурсы и технологии.

Дисциплинарное содержание дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки определяется рабочими программами учебных дисциплин [2]. В них нашли отражение приобретаемые знания и умения, необходимые для выполнения функций, указанных в Профессиональном стандарте.

По завершении обучения слушатели обязаны знать:

– нормативные правовые основы регулирования в сфере образования, функционирования системы военного образования;

– систему государственной регламентации образовательной деятельности;

– современные образовательные технологии профессионально-ориентированного обучения, особенности их применения и основные ожидаемые результаты;

– психолого-педагогические основы и методику применения технических средств обучения, информационно-коммуникационных технологий, электронных образовательных и информационных ресурсов;

– традиционное и инновационное содержание теории и практики обучения и воспитания, психолого-педагогические механизмы формирования личности слушателя (курсанта);

– методологические подходы к оцениванию планируемых результатов образования на основе системно-деятельностного и компетентностного подходов;

– основы эффективного педагогического общения, культуры речи и требования к публичному выступлению;

– современное состояние, перспективы и направления развития конкретной отрасли знания и предметной области, в рамках которой осуществляется профессиональная деятельность;

- назначение, состав и правила эксплуатации вооружения, военной и специальной техники, лабораторного оборудования и других элементов учебно-материальной базы кафедры;
- особенности преподавания профильной дисциплины (гуманитарной и социально-экономической, естественно-научной и математической, военно-специальной, оперативно-тактической и др.).

Освоение дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки должно сформировать у обучающихся следующие умения:

- организовывать и проектировать свою профессиональную деятельность в соответствии с законодательством Российской Федерации в составе кафедрального коллектива образовательной организации высшего образования Министерства обороны Российской Федерации на основе современных достижений психолого-педагогической науки и практики, а также предметной области;
- разрабатывать учебные программы и тематические планы изучения учебных дисциплин, курсов, модулей, планы занятий, методические и дидактические материалы, выбирать учебную и учебно-методическую литературу, рекомендовать обучающимся дополнительные источники информации, в том числе Интернет-ресурсы;
- ставить проверяемые цели как планируемые результаты образовательной деятельности и адекватно выбирать технологии, методы и средства обучения, организовывать и проводить основные виды занятий;
- реализовывать педагогическое оценивание деятельности обучающихся, включая разработку контрольно-измерительных материалов и других оценочных средств;
- обеспечивать условия для успешной деятельности, позитивной мотивации обучающихся;
- педагогически обосновано использовать на занятиях информационно-коммуникационные технологии, современные технические средства обучения, электронные образовательные и информационные ресурсы;
- разрабатывать текст и произносить академическую речь.

В рабочих программах учебных дисциплин определяется логическая связь между результатами обучения и приобретаемыми слушателями компетенциями. Существенное значение при этом имеют логически выстроенные междисциплинарные связи, а также определение места и роли каждой дисциплины в формировании компетенций. Достичь эту цель позволяет разработка матрицы компетенций [3].

Дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки содержит описание документированных процедур, отражающих специфику организационных действий и педагогических условий, направленных на достижение целей как самой программы, так и планируемых результатов обучения [5]. При этом важнейшим фактором реализации программы является сокращение времени на ее освоение, что требует повышения интенсивности усилий всех участников образовательного процесса, выбора адекватных образовательных технологий. Решение этих задач целесообразно рассмотреть через призму принципов обучения, которые, как известно, представляют собой основные положения, определяющие содержание, организационные формы и методы в соответствии с общими целями обучения. Не умаляя значимости большинства общепризнанных принципов обучения (научность, наглядность, сознательность, активность и самостоятельность, доступность и высокий уровень трудности обучения и др.), актуальными представляются следующие:

- 1) фундаментальность как глубокое и системное усвоение обучающимися современных достижений психолого-педагогической науки и предметной области;
- 2) практическая направленность обучения – ориентированность на подготовку выпускника к педагогической деятельности в рамках конкретной предметной области и преподавания конкретной дисциплины профильной кафедры;
- 3) индивидуализация (персонализация) обучения, которая предполагает не только наличие пристального внимания к личностным качествам слушателей, уровню их подготовленности, но и учет удовлетворения и развития интересов и способностей. По сути дела каждому

обучающемуся должна быть определена своеобразная индивидуальная образовательная и карьерная траектория;

4) инновационность обучения, его опережающий (прогностический) характер, требующий оперативного реагирования на новые реалии как в науке, так и в практике, внедрение в образовательный процесс современных образовательных технологий;

5) компьютеризация обучения – с одной стороны, активное внедрение в образовательный процесс современных инфокоммуникационных технологий, а с другой – освоение слушателями технологий разработки мультимедийных презентаций и методик применения электронных образовательных и информационных ресурсов в образовательной деятельности;

б) переход от обучения в традиционном понимании к самообразованию слушателей, формирование у них потребности в постоянном самосовершенствовании. В этой связи повышается роль самостоятельной работы обучающихся, изменяется ее содержание и методические аспекты организации.

Обобщая, следует отметить, что разработанная в академии программа профессиональной переподготовки военных специалистов для выполнения нового вида деятельности в сфере педагогики высшей школы в полной мере соответствует требованиям Профессионального стандарта. Ее реализация позволит успешно решать задачи подготовки педагогов, обладающих высокой профессиональной компетентностью, способных к педагогическому творчеству и самосовершенствованию.

Список используемых 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. Методические рекомендации по организации и осуществлению дополнительного профессионального образования в организациях МО РФ, осуществляющих образовательную деятельность. Утверждено статс-секретарем-заместителем МО РФ Н. Панковым от 30 октября 2015 г. – М., 2015. – 113 с.

3. Муратова Е.И., Попов А.И., Ракитина Е.А. Технология формирования готовности выпускников аспирантуры к преподавательской деятельности // *Alma mater. Вестник высшей школы.* – 2017. – № 1. – С. 52–58.

4. Об утверждении профессионального стандарта Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования: Приказ Минтруда России от 08.09.2015 г. № 608н. – URL: [http:// base. consultant.ru](http://base.consultant.ru) (дата обращения: 17.11.2017).

5. Российская Федерация. Министерство образования и науки. Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам: Приказ Минобрнауки России № 499 от 01.07.2013 // *Российская газета.* – 2013. – С.12.

Н.Б. Кунтурова,
доктор педагогических наук, доцент;
А.Л. Прокофьева

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО УГЛУБЛЕННОМУ ИЗУЧЕНИЮ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ

В публикации рассмотрен педагогический эксперимент по углубленному изучению иностранного языка на основе современных информационных технологий в форме электронного учебного курса, целью которого является повышение качества овладения иностранным языком будущими специалистами информационно-аналитических центров. Проанализированы некоторые результаты эксперимента.

Ключевые слова: электронный учебный курс, повышение эффективности изучения иностранного языка, педагогический эксперимент.

Анализ современного отечественного лингвистического образования показал, что повышение эффективности изучения иностранного языка при подготовке специалистов для осуществления переводческой деятельности в сфере профессиональной коммуникации возможно в том случае, когда в учебном процессе активно используются технические средства обучения, в частности электронные учебные курсы (ЭУК).

Процесс обучения с использованием исследовательской и учебной литературы, изданной на бумажных носителях, сохраняется как важное звено изучения иностранного языка в целом, но его основу в данном подходе составляет работа с электронными учебными курсами, которые одновременно являются и обучающими программами, и тестирующими системами, и информационными базами данных [1].

Использование ЭУК становится особенно важным при подготовке специалистов для осуществления переводческой деятельности в сфере профессиональной коммуникации, требующей постоянного применения знаний иностранного языка и наличия устойчивых навыков в области основ грамматики и лексики, практически доведенных до автоматизма [4].

Для оценки качества и прочности усвоения учебного материала по иностранному языку, усиления мотивации и активности обучающихся при использовании в процессе обучения технических средств, был проведен сравнительный педагогический эксперимент в учебных группах 1 и 2 курсов. Схема проведения сравнительного педагогического эксперимента показана на рис.1.

В эксперименте было задействовано 36 обучающихся 1 курса, 18 из которых составили экспериментальную группу и 18 – контрольную, и 36 обучающихся 2 курса с равным количеством человек в каждой группе.

На начальном этапе эксперимента при помощи входного тестирования было произведено выравнивание контрольных и экспериментальных групп. Тестирование производилось с использованием педагогических тестов – системы заданий с множественными вариантами ответов с целью определения начального уровня знаний обучающихся. Доказательство однородности выделенных контрольных и экспериментальных групп было осуществлено при помощи критериев Стьюдента (для независимых выборок) и Фишера (сравнение дисперсий), что позволило учесть не только психофизиологические свойства обучающихся этих групп, но и уровень их подготовленности [3].

На начальном этапе определялись, а при необходимости уточнялись, варьируемые и неварьируемые условия проведения эксперимента [2].

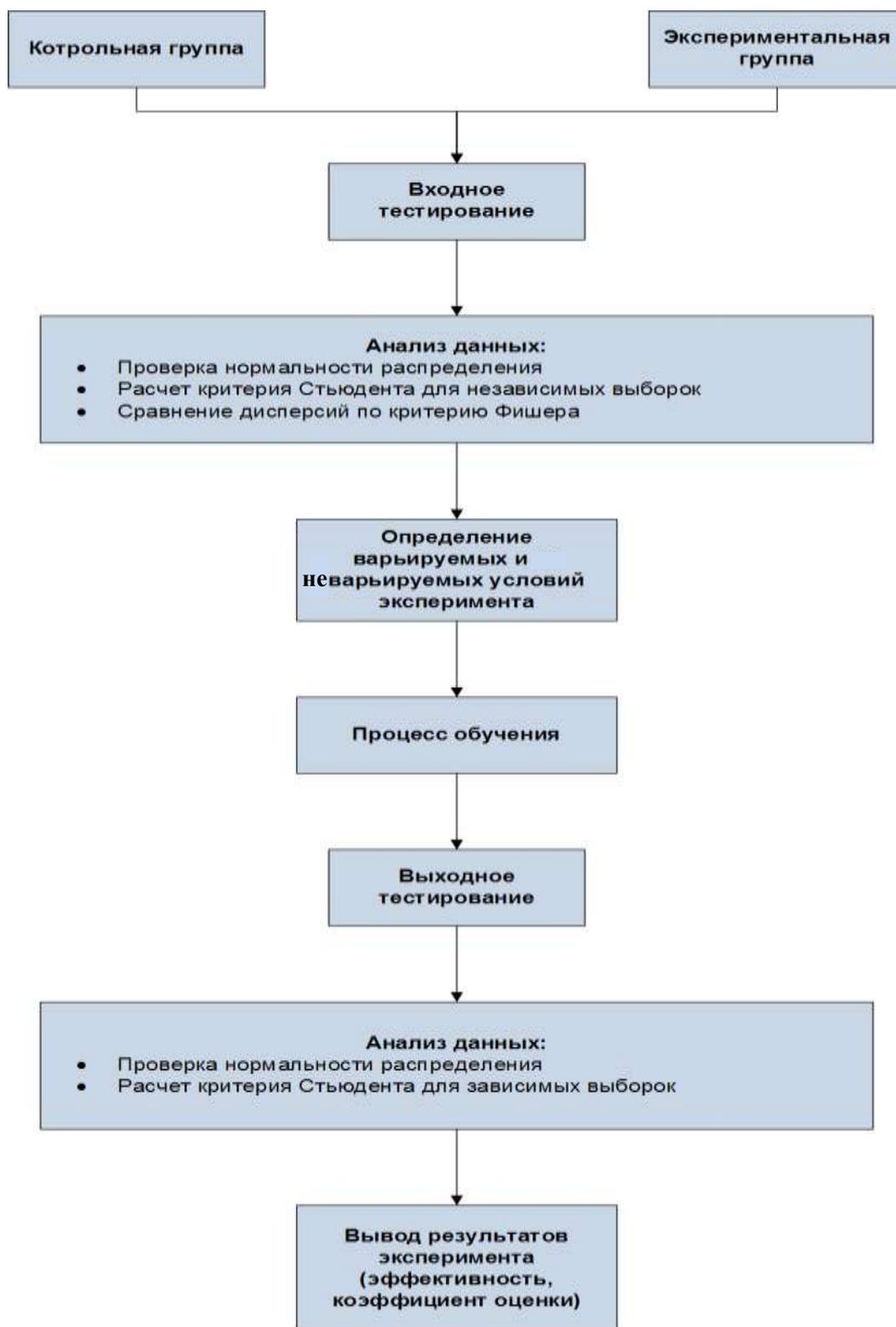


Рис. 1. Схема проведения сравнительного педагогического эксперимента

Под варьируемыми понимались следующие условия:

– занятия под руководством преподавателя в контрольной группе проводились в обычной учебной аудитории, а в экспериментальной группе – в компьютерном классе;

– в экспериментальной группе средством самостоятельного изучения учебного материала выступал ЭУК, а в контрольной группе – традиционный учебник (учебное пособие или другое традиционное средство обучения);

– в экспериментальной группе обучающиеся имели возможность провести текущий контроль своих знаний, используя диагностирующую подсистему ЭУК, а в контрольной группе такая возможность не была предусмотрена и т.д.

В качестве неварьируемых условий проведения эксперимента были рассмотрены:

- равный объем изученной учебной информации;
- равный временной интервал, предоставленный для освоения материала;
- постановка единых для обеих групп дидактических задач.

Этап обучения – основной этап проведения педагогического эксперимента, в ходе которого в контрольной и экспериментальной группах проводились:

- лекции по запланированным темам;
- учебные занятия с использованием метода проектов;
- самостоятельная работа под руководством преподавателя и без его участия.

Вместе с тем, если в экспериментальной группе обучение дополнялось использованием ЭУК, то в контрольной группе это делалось с применением только традиционных методик обучения.

При формировании навыков перевода с помощью разработанного А.Л. Прокофьевой ЭУК «Грамматика английского языка» в форме тестов отрабатывались определенные грамматические конструкции. ЭУК позволяет формировать набор тестов, в которых каждый вопрос привязан к определенному грамматическому материалу. В том случае, если обучающийся допускает ошибки при тестировании, ЭУК отправляет его к теоретическому материалу по тому разделу, где были допущены ошибки. Данный метод контроля позволяет не только выявить, но и сразу же устранить те или иные пробелы в знаниях грамматики, не прибегая к помощи преподавателя и без использования дополнительной литературы, поскольку в программу ЭУК уже заложены все необходимые теоретические материалы. В конце занятия ЭУК выставляет обучающемуся оценку по традиционной пятибалльной шкале. Тестовая база ЭУК по каждому модулю и теме соответствует содержанию учебной программы и входит в комплект методического обеспечения учебной дисциплины [6].

На заключительном этапе эксперимента проводилось выходное тестирование обучающихся с целью определения достигнутого ими уровня обученности и сравнение полученного результата с изначально заданными дидактическими целями.

При помощи математических методов обработки данных в программе «SPSS Statistics 17.0» для экспериментальных и контрольных групп были получены следующие результаты входного и выходного тестирования обучающихся по дисциплине «Иностранный язык» в процентной шкале (0–100%): результаты обучающихся 1 курса отображены в табл. 1, а результаты обучающихся 2 курса отображены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты входного и выходного тестирования обучающихся 1 курса

Обучающиеся 1 курса (входной тест)	Экс. группа (баллы)	Контр. группа (баллы)	Обучающиеся 1 курса (выходной тест)	Экс. группа	Контр. группа
1	85	86	1	96	79
2	46	63	2	51	69
3	64	56	3	75	51
4	71	89	4	84	86
5	15	86	5	40	86
6	43	49	6	60	51

Окончание табл. 1

Обучающиеся 1 курса (входной тест)	Экс. группа (баллы)	Контр. группа (баллы)	Обучающиеся 1 курса (выходной тест)	Экс. группа	Контр. группа
7	86	45	7	89	41
8	71	30	8	100	30
9	80	27	9	85	11
10	51	90	10	64	95
11	75	62	11	79	75
12	75	50	12	95	65
13	40	90	13	45	86
14	85	46	14	75	96
15	65	50	15	75	64
16	21	51	16	50	55
17	45	25	17	60	33
18	80	21	18	85	15
Средний балл	60,86	59,61	Средний балл	74,27	60,44

Таблица 2

Результаты входного и выходного тестирования обучающихся 2 курса

Обучающиеся 2 курса (входной тест)	Экс. группа (баллы)	Контр. группа (баллы)	Обучающиеся 2 курса (выходной тест)	Экс. группа	Контр. группа
1	65	74	1	71	74
2	20	51	2	28	45
3	53	80	3	51	80
4	57	41	4	65	39
5	25	36	5	51	41
6	34	57	6	51	64
7	21	45	7	63	45
8	58	76	8	58	76
9	35	51	9	75	51
10	51	75	10	51	86
11	75	72	11	75	72
12	81	64	12	85	64
13	45	85	13	57	90
14	71	51	14	71	51
15	65	57	15	65	65
16	45	53	16	64	51
17	80	27	17	45	27
18	45	10	18	96	21
Средний балл	50,72	55,83	Средний балл	63,3	57,8

Для проверки нормальности распределения полученных результатов была использована процедура построения графика накопленных частот «P-P Plots». Это позволило выяснить, отличается ли от нормального выборочное распределение измеренной переменной.

Результаты входного тестирования для групп 1 и 2 курсов в контрольной и экспериментальной группах показаны на рис. 2 и 3.

Для проведения сравнительного анализа эффективности применения в образовательном процессе новой информационной технологии обучения и традиционной технологии обучения целесообразно воспользоваться следующей формулой:

$$\text{Эито} = \frac{C_{\text{э}} - C_{\text{к}}}{C_{\text{к}}},$$

где Эито – эффективность информационной технологии обучения;
 $C_{\text{э}}$ – среднее оценок, полученных экспериментальной группой по итогам обучения;
 $C_{\text{к}}$ – среднее оценок, полученных контрольной группой по итогам обучения.

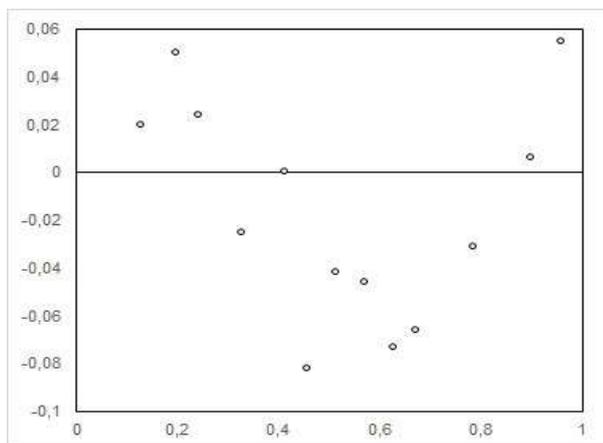


Рис. 2. График накопленных частот «P-P Plots» для контрольных групп 1 и 2 курсов по результатам входного тестирования

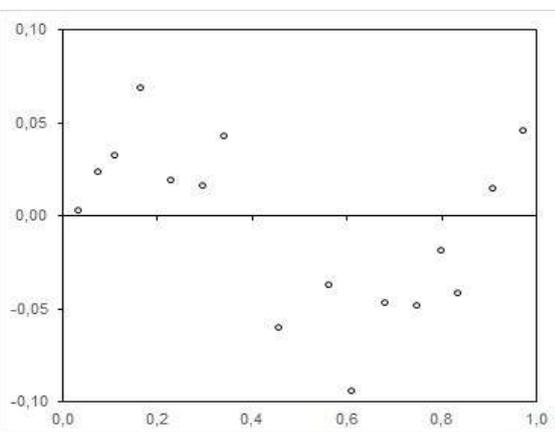


Рис. 3. График накопления частот «P-P Plots» для экспериментальных групп 1 и 2 курсов по результатам входного тестирования

В процессе расчетов было установлено, что эффективность применения ЭУК «Грамматика английского языка» на 1 курсе обучения составила $\text{Эито} = 0,13$, т.е. увеличилась на 13 % по сравнению с контрольной группой. Эффективность применения ЭУК на 2 курсе составила $\text{Эито} = 0,096$, т.е. увеличилась примерно на 10 % по сравнению с контрольной группой. Все это свидетельствует о повышении качества подготовки будущих специалистов-переводчиков информационно-аналитических центров при использовании ЭУК в процессе изучения иностранного языка по сравнению с традиционной технологией обучения.

Анализ результатов отзывов на выпускников ВКА имени А.Ф. Можайского также позволил выявить повышение качества овладения иностранным языком в процессе обучения с ЭУК, устранив наиболее типичные недостатки:

- слабый навык аннотирования и реферирования оригинальных иностранных военных материалов;
- недостаточный навык аудирования с английского на русский язык;
- недостаточный уровень владения грамматикой при письменном переводе с английского языка на русский и с русского языка на иностранный;
- слабый уровень осуществления устной переводческой деятельности оригинальных военных, военно-технических и военно-политических текстов с иностранного языка на русский и с русского языка на иностранный.

Электронный учебный курс отвечает особенностям организации образовательного процесса современного высшего учебного заведения, реализующего государственные образовательные стандарты, где сочетаются различные формы обучения. Программная реализация ЭУК обеспечивает легкость и простоту навигации по структуре курса, увеличивая объем и полноту изучаемой информации, что способствует повышению качества подготовки будущих специалистов для осуществления переводческой деятельности в сфере профессиональной коммуникации. Структура и способ предоставления учебно-методических материалов в электронном виде легко варьируются в зависимости от конкретной формы их использования,

обеспечивая поддержку персонализированных предметных сред в рамках личностно-ориентированного принципа организации учебной деятельности [5, 7].

Список используемых источников

1. Информатизация образования: направления, средства, технологии / под общ. ред. С.И. Маслова. – М.: МЭИ, 2004. – 868с.
2. Кушнер Ю.З. Методология и методы педагогического исследования: учеб.-метод. пособие. – Могилев: МГУ им. А.А. Кулешова, 2001. – 66 с.
3. Панюкова С.В. Использование информационных и коммуникационных технологий в образовании. – М.: Академия, 2010. – 224 с.
4. Прокофьева А.Л., Применение электронных учебных курсов в процессе изучения иностранного языка в высшем учебном заведении // Информационно-управляющие системы. – 2015. – №6(79). – С. 98–104.
5. Советов Б. Я, Цехановский В.В. Информационные технологии: учебник для вузов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2006. – 263 с.
6. Васильева Н.В., Кунтурова Н.Б., Использование электронных образовательных ресурсов при формировании математической компетентности у будущих военных специалистов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – № 651. – С. 189–193.
7. Васильева Н.В., Кунтурова Н.Б., Яковлева Н.А. Создание и педагогические условия использования электронных средств обучения математическим дисциплинам в образовательных организациях силовых структур // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2016. – № 4 (72). – С. 164–168.

В.Л. Гузенко,
кандидат военных наук, профессор;
Р.Ф. Фаттахов,
кандидат военных наук;
А.А. Федирко,
кандидат военных наук

ОЦЕНИВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЕННОЙ СЛУЖБЫ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

В публикации сформулированы основные понятия, показатели и критерии оценки рисков, возникающих в повседневной деятельности воинских формирований. Результаты анализа позволили сформировать методику оценивания рисков для принятия решения на обеспечение безопасности военной службы.

Ключевые слова: риск, опасность, безопасность военной службы.

На современном этапе деятельности Вооруженных сил необходимо однозначно понимать, что без создания безопасных условий военной службы нельзя добиться гарантированного обеспечения конституционных прав военнослужащих на жизнь и охрану здоровья.

Полностью устранить опасные и вредные факторы военной службы, профессиональные заболевания военнослужащих не представляется возможным, поэтому в воинских частях, организациях и учреждениях должны разрабатываться и поддерживаться в рабочем состоянии процедуры оценки рисков, цель которых состоит в том, чтобы на основе полученных результатов снизить опасности на военных объектах при выполнении личным составом обязанностей военной службы до определенных, социально и экономически приемлемых на данный момент уровней.

Исследование (анализ) и оценку рисков необходимо рассматривать в качестве главного механизма решения проблем обеспечения безопасности военной службы по ряду причин, главными из которых являются потенциальная и реальная опасности образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), не соответствующих нормативным и санитарно-гигиеническим требованиям для личного состава и неадекватные (опасные) действия, которые совершаются личным составом вопреки нормам безопасности.

Так как риски, вызванные «человеческим фактором», относятся к числу самых непредсказуемых [14], наличие факторов опасности (риска) в повседневной деятельности воинских формирований представляет серьезную управленческую проблему.

Во многих случаях саму опасность устранить не представляется возможным [15]. К таким случаям следует отнести участие военнослужащих в современных вооруженных конфликтах с применением новейших образцов оружия, современную практику боевой подготовки с высокой интенсивностью боевой учебы в виде проведения межвидовых и двухсторонних учений, отработкой вопросов перебазирования авиации на оперативные аэродромы и переброски группировок войск (сил) на незнакомые полигоны, в том числе в рамках внезапных проверок соединений и воинских частей.

В то же время опыт практической деятельности показывает, что принятие соответствующих мер позволяет снизить риск реализации опасности. Из этого следует вывод о необходимости выявления факторов опасности (риска), оценки их уровней (значений) и принятия необходимых мер по устранению или уменьшению их негативного влияния [8].

Процедуры выявления (идентификации) опасности (риска), количественной оценки ее (его) значения, последующего анализа и принятия соответствующих мер, противодей-

ствующих опасности, тем самым снижающим ее, и формирует так называемый процесс управления профессиональным(и) риском (рисками) [9].

Вместе с тем традиционные подходы к управлению, как правило, не учитывают реальные риски – степень опасности, а при разработке предупредительных мер исходят чаще всего из субъективных соображений или уже произошедших негативных событий.

В отличие от предшествующего, нередко существующего и ныне традиционного подхода современная концепция управления безопасностью военной службы должна строиться на базе анализа, оценки и доведения уровней рисков до оптимальных (приемлемых) значений и на этой основе осуществлять разработку и реализацию целенаправленной деятельности по обеспечению безопасных условий военной службы. То есть на смену принципу достижения так называемого «нулевого риска» уже давно пришла концепция «приемлемого риска» [15].

Задача по обеспечению безопасности состоит не в том, чтобы полностью устранить опасность (риск), в большинстве случаев это практически невозможно, а в том, чтобы уменьшить его до определенного – социально, экономически и технически приемлемого уровня (значения), принятого в обществе. Для этого необходимо прежде всего измерить (оценить) величину риска. Введение показателя риска позволяет более целенаправленно управлять безопасностью на основе целевой функции, которая основывается на этом показателе.

Необходимость объективной оценки условий безопасности военной службы по факторам опасности (риска) обусловлена также законодательной нормой, обязывающей командиров (начальников) всех степеней доводить до личного состава сведения об условиях на местах выполнения обязанностей и обо всех опасных (вредных) факторах военной службы, которые реально или потенциально могут воздействовать на них, вызывая соответствующие негативные последствия.

Внедрение в сферу обеспечения военной службы стандартов и рекомендаций по управлению рисками требует разработки методологии и соответствующих регламентов, определяющих механизм практического внедрения этой формы (метода) влияния на состояние безопасности, так как оценка рисков и управление ими являются необходимыми условиями реализации Стратегии социального развития Вооруженных Сил Российской Федерации на период до 2020 года.

Анализ различных источников информации показывает, что в настоящее время нет нормативной базы, единых типовых методик либо унифицированных рекомендаций оценки профессиональных рисков, пригодных для практического применения, поэтому различные организации решают эти вопросы по-разному. В известных стандартах в основном излагаются принципиальные подходы, а не методология или конкретная последовательность и порядок действий [1–3]. Хотя отдельные публикации свидетельствуют о том, что на некоторых предприятиях уже имеется определенный опыт практического применения систем управления рисками, что закреплено соответствующими внутренними стандартами [4].

Отсутствие единого подхода к оценке военных объектов также может приводить к субъективизму, не позволяет обобщать и сравнивать сведения о наличии опасных и/или вредных условий военной службы, создающих предпосылки для гибели и травматизма личного состава и мирного населения. В этой связи представляется необходимым создание системы выявления рисков военной службы, критериев их отнесения к той или иной категории, определения профилактических мер по предупреждению происшествий, механизмов защиты и установления ограничений, снижающих риск воздействия на личный состав. По этим причинам проблема оценки рисков и управления ими, учитывая её сложность и многоаспектность, в настоящее время становится очень актуальной и востребованной.

Проведенный анализ различных подходов [9, 12, 18] позволил сформулировать определение понятия «Риск» для сферы повседневной деятельности воинских формирований.

Риск – это вероятность ущерба жизни и здоровью личного состава под воздействием опасностей¹ военной службы в процессе повседневной деятельности с учетом тяжести ущерба.

Тогда под оценкой риска будем понимать процесс выявления опасностей, существующих на местах выполнения обязанностей военной службы, и определение масштабов этих опасностей и их возможных последствий, что послужит основанием для принятия в дальнейшем предупредительных мер и станет необходимым условием эффективного управления рисками, оказывающими непосредственное влияние на уровень безопасности военной службы.

Количественная оценка риска – процесс присвоения значений вероятности и последствий риска [17].

Совокупный анализ подходов к оценке рисков [5, 7, 11], состав и последовательность процедур осуществления его оценки и последующего управления позволили определить основные этапы управления рисками, представленные на рис. 1.



Рис. 1. Процесс управления рисками

Проведем анализ данных процессов более подробно.

В ходе *идентификации опасностей*, по сути, происходит осознание того, что опасность существует, и определяются последствия ее проявления. При идентификации опасности следует ответить на вопросы.

Какие происшествия могут произойти, кто (что) подвергнется опасности?

Какова вероятность и как часто могут возникать происшествия?

Какие последствия могут вызывать происшествия?

Начинается процесс идентификации с анализа исходной информации [13], ознакомления с документацией, регламентирующей ход выполнения задач, осмотра мест выполнения обязанностей с целью выявления опасных и вредных факторов военной службы (ОВФУ), которые существуют или могут возникнуть в перспективе.

¹ Опасность – источник или ситуация, которая потенциально может привести к травме или ухудшению состояния здоровья человека, нанесению ущерба объектам, повреждению окружающей среды или сочетания всего этого.

В качестве исходных данных для первичной идентификации опасностей могут использоваться различные источники информации, такие как:

- результаты проверок военных объектов, содержащие сведения о характере служебной деятельности;
- акты проверок, проводимых органами военного управления и по планам командиров (начальников) воинских формирований;
- собеседование и анкетирование личного состава;
- данные статистики гибели, травматизма и материалы расследования данных случаев [15].

По результатам первичной идентификации опасностей составляется перечень контролируемых ОВФУ военной службы, затем производится их качественная и количественная оценка.

На основании оценки составляется реестр рисков по каждому объекту, что позволит обеспечить в дальнейшем учет ОВФУ военной службы, подлежащих контролю, приведших к квалификации их как опасных (вредных). При этом необходимо учитывать опасности, возникающие в процессе повседневной деятельности воинских формирований и окружающих гражданских объектов и населения.

Основанием для *определения категории опасности* служат результаты сопоставления фактических показателей с установленными значениями количественных критериев, отнесения опасностей к той или иной категории, которые должны быть регламентированы соответствующими классификаторами либо установлены на основании последующих исследований с привлечением специалистов (экспертным методом) [15].

Для *определения категории (вероятности) возникновения опасности и времени (экспозиции) ее действия* могут использоваться данные статистических наблюдений, информация, содержащаяся в технологической документации, результаты аттестации рабочих мест по условиям труда, анализ материалов расследования не только зарегистрированных несчастных случаев, но и учета всех микротравм (даже с небольшой потерей трудоспособности), что позволяет с большей вероятностью прогнозировать возможность происшествия более серьезных случаев травматизма и, соответственно, разрабатывать мероприятия по их предупреждению.

В зависимости от вероятности проявления и действия опасных и/или вредных производственных факторов опасные зоны подразделяются на два вида: зоны постоянно действующих ОВФУ, наличие которых связано с нормальным ходом процесса, и заранее очевидны зоны потенциально опасных ОВФУ, которые возникают случайно, при нарушении нормального хода процесса. От этого зависит характер предпринимаемых мер.

Определение категории тяжести выполняется на основании априорной оценки, которая позволяет предположить, кто и как может пострадать в результате происшествия, какой ущерб может быть нанесен или наносится личному составу и/или окружающей среде.

Для *определения категории (степени) риска* используются установленные ранее категории опасности, вероятности и продолжительность их воздействия, требования нормативно-правовых и локальных актов, инструкций по требованиям безопасности, методические рекомендации.

Разработка принципов, методов, определение требований и номенклатуры средств защиты, противодействующих ОВФУ, снижающих, локализуемых или исключаящих реализацию рисков – это завершающий этап в процессе управления рисками. Они также разнообразны, как и сами опасности, и могут носить технический, организационный или психофизиологический характер.

К настоящему времени уже накоплен определенный практический опыт оценки рисков, имеются соответствующие методологии, которые могут быть приняты за основу для разработки унифицированной методики. Однако это не исключает совершенствования предложенных методов и разработки принципиально других.

Анализ существующих подходов и методологий по вопросам оценки рисков свидетельствует о том, что существуют два подхода и два способа количественной оценки составляющих, входящих в формулу риска [19].

Первый подход основывается на двухкомпонентной системе составляющих, влияющих на уровень риска: риск рассматривается как функция ущерба (тяжести) последствий и вероятности происшествия.

Второй подход основывается на трехкомпонентной системе: риск представляется как функция ущерба (тяжести, частоты подверженности) и вероятности происшествия.

Для количественной оценки составляющих риска может использоваться балльный или рейтинговый (ранговый) методы. Для этого каждая из составляющих риска (тяжесть, частота, вероятность реализации опасности) оценивается либо соответствующим числом баллов, или рейтингом соответственно занимаемому месту в таблице рейтингов. Представляется целесообразным с точки зрения унифицированности подхода оценку осуществлять по 4-х балльной рейтинговой системе, располагая категории риска в порядке возрастания их значимости. Оценкой риска и основанием для отнесения его к соответствующей категории служит интегральное значение, полученное путем перемножения оценок по каждой из составляющих.

Оценка в баллах или установление рейтинга составляющих риска производится экспертным методом с учетом статистических данных, результатов проверки объектов.

Ниже приведены способы рейтинговой оценки риска для двух- и трехкомпонентной систем. В случае двухкомпонентной системы это может быть сделано в виде матрицы (табл. 1).

Таблица 1

Матрица ранговой оценки рисков при двухкомпонентной системе

Ущерб	Малозначительный		Средний		Значительный		Очень значительный	
	Риск	Ранг	Риск	Ранг	Риск	Ранг	Риск	Ранг
Очень вероятно	СР	4	ВР	8	ОВР	12	ОВР	16
Вероятно	НР	3	СР	6	ВР	9	ОВР	12
Маловероятно	НР	2	СР	4	СР	6	ВР	8
Невероятно	НР	1	НР	2	НР	3	СР	4

Примечание. ОВР – очень высокий риск; ВР – высокий риск; СР – средний риск; НР – низкий риск.

Из разработанных методик можно выделить методологию, представленную стандартом предприятия СТП 584-6.7-002-2006, разработанного в рамках СУОТ в ОАО «Раменский приборостроительный завод», которая определяет порядок идентификации опасностей, оценки и контроля рисков [4].

Проведение процесса оценки рисков на рабочих местах предусматривает последовательность, рассмотренную выше (см. рис. 1).

Идентификация опасностей осуществляется на основании классификатора. К числу опасностей относятся аварии природного характера и технологического оборудования, воздействие ОВПФ, дорожно-транспортные происшествия, пожары, падения с высоты, падения, обрушения предметов и материалов, физические нагрузки, утомление, нервно-психические нагрузки и др.

Вероятность возникновения травм/профессиональных заболеваний (B) определяется по формуле

$$B = HC_{cp}/Ч, \quad (1)$$

где HC_{cp} – среднее количество несчастных случаев и травм, возникающих из-за подверженности анализируемой опасности, за 1 год;

$Ч$ – численность работников, подверженных анализируемой опасности.

На основании данных о производственном травматизме и профессиональных заболеваниях определяется категория тяжести последствий возможных инцидентов, а затем на основании определенных категорий вероятности возникновения и тяжести последствий, сведенных в матрицу, определяются уровни профессионального риска.

Полученные значения сводятся в таблицу оценки рисков и в соответствии с планом определяются методы управления выявленными рисками.

Оценка потенциального ущерба (тяжести последствий) проявления опасности (риска) может осуществляться по следующим направлениям [7]:

1) по важности для людей и социальным потерям в связи с несчастными случаями (тяжесть несчастных случаев и травм);

2) по материальным издержкам в связи с аварийными (чрезвычайными) происшествиями;

3) по экологическим аспектам – ущерб от загрязнения окружающей среды.

В мировой практике на макроуровне допускается наличие несчастных смертельных случаев от 1×10^{-6} до 1×10^{-4} гибели человека в год [13].

По классификации МОТ допустимым уровнем считается один смертельный случай в расчете более чем на десять тысяч работающих.

Один смертельный случай на сто тысяч работающих относится к категории незначительных, на двадцать и больше тысяч – к категории удовлетворительных.

Один смертельный случай меньше чем на десять тысяч работающих считается уже недопустимым. Это объясняется тем, что реально исключить несчастные случаи, в том числе смертельного характера, не представляется возможным в связи с объективно существующими производственными факторами опасности и вредности, а также неадекватными (опасными, непредсказуемыми и непрогнозируемыми) действиями персонала, занятого в производственно-трудовых процессах.

Исходя из этого, предлагаются следующие оценки уровней рисков:

- незначительный риск – $< 10^{-6}$;
- допустимый риск – $1 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-5}$;
- терпимый риск – $5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$;
- недопустимый риск – 5×10^{-4} .

С учетом изложенного для отнесения составляющих риска к соответствующей категории предлагается использовать критерии рейтинговой оценки (табл. 2–5).

Таблица 2

Оценка возможного ущерба от потенциальной опасности

Оценка «У» (рейтинг)	Качественная оценка (значительность, тяжесть) ущерба	Критерии оценки по важности для людей (тяжесть несчастных случаев и травм)
4	Очень значительный	Риск для жизни, несчастные случаи со смертельными исходами, групповые н/с
3	Значительный	Несчастные случаи, приведшие к тяжелым последствиям, с потерей трудоспособности более 30-ти рабочих дней, к инвалидности
2	Средний	Несчастные случаи, подлежащие регистрации, приведшие к потере трудоспособности менее 30 раб. дней, переводу на другую (менее опасную и легкую) работу
1	Малозначительный	Легкие травмы, требующие или не требующие оказания первой помощи без потери трудоспособности (не регистрируемые), микротравмы (незначительные порезы, ушибы и др.)

Таблица 3

Оценка частоты процессов (подверженности опасности)

Оценка «Ч» (рейтинг)	Критерий оценки (подверженности)	
	Качественная оценка (характеристика частоты)	Количественная характеристика частоты процессов
3	Высокая	Ежедневная (постоянная) подверженность опасности
2	Средняя	Один раз в месяц и более
1	Низкая	Менее одного раза в месяц

Таблица 4

Оценка вероятности возникновения события (инцидента)

Оценка «В» (рейтинг)	Критерии оценки	
	Качественная характеристика вероятности	Количественная характеристика вероятности
4	Очень вероятно	Регулярно наблюдаемое событие. Один раз в день или более
3	Вероятно	Периодически наблюдаемое событие. Один раз в месяц и больше
2	Маловероятно	Редко наблюдаемое событие. Менее одного раза в месяц
1	Почти невероятно	Событие, которое может возникнуть при исключительном стечении обстоятельств

Таблица 5

Оценка категории рисков

Критерии численной оценки (значения) риска на основе рейтингов ($P=U \times C \times B$)	Категория риска	Приемлемость риска	Необходимые действия по результатам оценки риска
>36	Очень высокий	Неприемлемый (недопустимый)	Немедленное прекращение деятельности, работы не могут быть начаты до уменьшения риска до низкого или среднего уровня
Более 24 до 36	Высокий	Очень нежелательный	Работы могут быть начаты только при условии разработки мероприятий по управлению рисками
Более 12 до 24	Средний	Нежелательный	Необходимы внедрение мер по уменьшению профессиональных рисков, разработка регламентирующей документации
12 и менее	Низкий	Приемлемый (допустимый)	Принятие необходимых мер по недопущению его повышения. Контроль за его уровнем и трендом

По результатам оценки рисков должны предприниматься соответствующие меры, направленные на их снижение.

Однако в практике возникает необходимость кроме оценки рисков за определенный (учетный) период по отдельным категориям и объектам оценить фактический общий риск по всем категориям и объектам. Это может быть сделано на основе индекса риска I_p , который определяется как отношение суммарного фактического риска по всем категориям и объектам P_ϕ к суммарному базовому значению риска по всем категориям и объектам P_ϕ

$$I_p = P_\phi / P_\phi, \quad (2)$$

где P_ϕ – фактическое значение риска:

$$P_\phi = \sum_{i=1}^{i=4} P_{\phi_i}, \quad (3)$$

а базовое значение риска P_ϕ рассчитывается по соотношению

$$P_\phi = \sum_{i=1}^{i=4} P_{\phi_i}, \quad (4)$$

где P_{ϕ_i} , P_{ϕ_i} – соответственно фактическое и базовое значения риска по i -й категории.

По значению индекса риска может оцениваться общий уровень гибели и травматизма в соответствии со следующей классификацией:

- при $I_p > 0,75$ – крайне неудовлетворительный уровень;
- при $I_p > 0,50$ по $0,75$ – неудовлетворительный уровень;
- при $I_p > 0,25$ по $0,50$ – удовлетворительный уровень;
- при $I_p > 0,25$ – хороший уровень.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что положительный опыт управления рисками на различном уровне позволяет использовать существующие методики для обеспечения безопасности военной службы [7, 8, 11, 14]. Внедрение процедур оценки рисков позволяет реализовать принципы мониторинга обеспечения безопасности – «прогнозируй и предупреждай», а также предпринимать необходимые предупредительные меры и действия, к которым относятся:

- информационная поддержка управления безопасностью военной службы;
- повышение качества профессиональной подготовки личного состава;
- предупреждение военнослужащих о наличии и характере опасных ситуаций;
- контроль и самоконтроль действий личного состава;
- повышение культуры безопасности;
- развитие у командиров и начальников способностей вероятностного прогнозирования опасных событий [15, 16, 17].

Список используемых источников

1. OHSAS 18001:2007. Система менеджмента охраны здоровья и безопасности персонала. – URL: <http://iso-management.com/standarty-iso/ohsas-118001-2007> (дата обращения: 20.07.2017).
2. ГОСТ 12.0.230-2007. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. – URL: [http:// docs.cntd.ru/document/gost-12-0-230-2007-ssbt](http://docs.cntd.ru/document/gost-12-0-230-2007-ssbt) (дата обращения: 20.07.2017).

3. ГОСТ Р 51898-2002. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. – URL: [http:// docs.cntd.ru/document/1200030314](http://docs.cntd.ru/document/1200030314) (дата обращения: 20.07.2017).
4. СТП 2-2007. ССБТ. Профессиональные риски: оценка и управление. – URL: [http:// docs.cntd.ru/document/464655478](http://docs.cntd.ru/document/464655478) (дата обращения: 20.07.2017).
5. СТП 581-6.7-002-2006. СУОТ. Идентификация опасностей, оценка и контроль рисков. – URL: [http:// standartgost.ru/id/70049](http://standartgost.ru/id/70049) (дата обращения: 20.07.2017).
6. *Глуценко В.В.* Разработка управленческого решения. – М.: Конверсия и прогресс, 2011. – 456 с.
7. *Виханский О.С., Наумов А.И.* Менеджмент: человек, стратегия, организация, процесс. – М.: Гардарики, 2014. – 528 с.
8. *Гроув С. Эндрю* Высокоэффективный менеджмент. – М.: Экономика, 2014. – 256 с.
9. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 431 с.
10. *Черкасов В.В.* Проблемы риска в управленческой деятельности. – М.: Рефл-бук, 1999. – 288 с.
11. *Андреанова А.А., Хабибуллин Р.Ф.* Принятие решений в условиях неопределенности, Казань, 2015. – 250 с.
12. *Чавкин А.М.* Методы и модели рационального управления. – М.: ЮНИТИ, 2013. – 391 с.
13. *Парушина Н.В., Сучкова Н.А., Деминова С.В.* Мониторинг системы показателей эффективности как инструмент принятия управленческих решений // Вопросы экономики и права. – 2012. – № 4. – С. 317 – 320.
14. *Белов П.Г.* Управление рисками, системный анализ и моделирование. – М.: Юрайт, 2015. – 736 с.
15. *Кузнецова Н.В.* Методы принятия управленческих решений. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 222 с.
16. *Клекоцюк В.А., Клебан О.А., Ожигин Д.Н.* Условия безопасности военной службы в воинской части // Безопасность на транспорте: Материалы межвузовской научно-практической конференции 15 марта 2016 года. – СПб.: ВИ (ЖВВС), 2016. – С. 136–138.
17. *Казакова Н.А.* Управленческий анализ. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 272 с.
18. *Никифорова Н.А.* Управленческий анализ. – М.: Юрайт, 2015. – 432 с.
19. *Васильева И.С.* Эффективные методы и модели принятия управленческих решений // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2016. – № 3. – С.13–15.
20. Отчет НИР шифр «Служба-2016» / Р.Ф. Фаттахов, Н.В. Курдай, Н.В. Селихина и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 141 с.
21. Отчет НИР шифр «Служба-2016» / Р.Ф. Фаттахов, Н.В. Курдай, Н.В. Селихина и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. – 214 с.

С.А. Багрецов,
доктор техн. наук, доктор экономических наук, профессор;
В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор;
А.Д. Фомичев

МЕТОДИКА КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАЛЫХ ГРУПП ВОИНСКИХ ФОРМИРОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ УСЛОВНОГО КРИТЕРИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЯ

Появление и совершенствование новых видов вооружения поставили командиров и офицеров штабов перед необходимостью всестороннего эффективного обеспечения боевых действий формирований Воздушно-космических сил. При этом важным является психологическое обеспечение совместных действий операторов, несущих боевое дежурство.

В публикации представлена методика комплектования малых групп на основе применения условного критерия предпочтения. Она позволяет учесть профессиональные качества операторов, характер коммуникационных связей между ними, а также межличностные отношения между специалистами – операторами.

Ключевые слова: психологическое обеспечение, малая группа, психологическая совместимость, коэффициенты социометрической напряженности и когерентности.

ВВЕДЕНИЕ

Организация и ведение боевых действий в современных условиях осложняются тем, что они могут вестись как с применением, так и без применения оружия массового поражения (ОМП), но при постоянной угрозе его использования.

Многообразие средств, форм и способов ведения боевых действий предъявляют повышенные требования к объему знаний, профессиональному мастерству, волевым качествам и мыслительной деятельности командного состава. Оптимальное решение командира является основой управления войсками [3].

Появление и совершенствование новых боевых средств поставили командиров и офицеров штабов перед необходимостью решать задачи:

- предотвращения внезапного ядерного удара противника;
- подготовки формирований Воздушно-космических сил к боевым действиям как с применением, так и без применения ядерного оружия;
- обеспечения постоянной готовности войск к уничтожению ядерного оружия противника и эффективному использованию своих ядерных ударов;
- организации успешного преодоления войсками зон заражения и разрушения;
- восстановления боеспособности войск после ядерных ударов противника;
- умелого использования новых средств борьбы.

Значительно увеличился объем и изменилось содержание задач командования и штабов по организации всестороннего обеспечения боевых действий войск [2].

В современных условиях важным является психологическое обеспечение совместных действий военнослужащих, от которых зависит успешность деятельности всей группы (расчета, смены), несущей боевое дежурство [4, 5].

В воинском коллективе существует система официальных и неофициальных межличностных взаимоотношений. В малых группах наиболее отчетливо проявляется неофициальная структура взаимоотношений, которая оказывает сильное влияние на функционирование группы. Она порой изменяет официальные отношения между людьми и влияет на качество их совместных действий.

Анализ психологической структуры малой группы выявляет в ней лидера и ведомых. Первый во многом определяет линию поведения всей группы и тактику действий ведомых. При этом важным является их психологическая совместимость. Если она есть, то малая группа легко обучается совместной деятельности и способна к эффективному решению боевых задач [1].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

Будем считать, что определен контингент \mathcal{A} кандидатов, из которых предполагается скомплектовать группу управления в составе N операторов. Каждый оператор $\gamma \in \mathcal{A}$ имеет известные квалификационные характеристики $\{P_{\gamma k} : k = \overline{1, N}\}$, определяющие уровень его профессиональной подготовки. Элемент множества $P_\gamma = \{P_{\gamma k} : k = \overline{1, N}\}$ в данном случае определяет вероятность своевременного и безошибочного выполнения кандидатом $\gamma \in \mathcal{A}$ функциональных обязанностей k -го оператора комплектуемой группы. Для всего множества кандидатов \mathcal{A} их квалификационные характеристики определяются матрицей эффективностей $P = \|P_{\gamma k}\|_{k=\overline{1, N}; \gamma \in \mathcal{A}}$. Введем в определение также квалификационную матрицу $\delta = \|\delta_{\gamma k}\|$, элемент которой $\delta_{\gamma k} = 1$, если $P_{\gamma k} > 0$, и $\delta_{\gamma k} = \phi$ в противном случае.

Далее будем полагать, что показатель интеллектуальной согласованности группы оценивается с помощью линейной свертки квалификационных характеристик операторов, включенных в группу, т.е.

$$P = \sum_{k=1}^N a_k P_k, \quad (1)$$

где a_k – весовой коэффициент значимости информации k -го оператора в деятельности группы; $P_k = P_{\gamma k}$ при $\gamma \in \mathcal{A}$;

\mathcal{A} – множество операторов, включенных в состав τ -го варианта комплектования группы; $|\mathcal{A}| = N$; $\sum_{\gamma \in \mathcal{A}} \delta_{\gamma k} = 1, \forall k = \overline{1, N}$.

Эмоциональная совместимость и организационная сработанность группы в методике оценивается посредством двух социометрических показателей: коэффициента социометрической напряженности и индекса социометрической когерентности.

Однако в этих описанных выше методиках не учитывается структура связей операторов в группе, а также их характеристики. Анализ работы операторов в составе группы управления позволяет сделать вывод о стохастическом характере связей между операторами. С учетом сказанного социометрические коэффициенты H_τ и I_τ могут быть определены следующими формулами:

$$H_\tau = \frac{(2 \sum_{\gamma, j \in \mathcal{A}} \sum_{k, i=1}^N \delta_{\gamma k} \delta_{j i} z_{ki} \Pi_{\gamma i} \rho_{ki})}{Q}, \quad (2)$$

$$I_\tau = \frac{(2 \sum_{\gamma, j \in \mathcal{A}} \sum_{k, i=1}^N \delta_{\gamma k} \delta_{j i} C_{\gamma j} \rho_{ki})}{Q}, \quad (3)$$

где z_{ki} – элемент матрицы взаимной связи операторов в формируемой группе управления $\mathbf{z} = \|z_{ki}\|$ при $z_{ki} = 1$ в том случае, если оператор k функционально связан с оператором j ($z_{ki} = 0$ в противном случае);

$\Pi_{\gamma j}$ – элемент матрицы взаимных оценок операторов $\Pi = \|\Pi_{\gamma j}\|$, равный 1 в том случае, если значение показателя межличностных отношений $C_{\gamma j}$ между γ -м и j -м операторами контингента отвечает неравенству $C_{\gamma j} \geq 0$ ($\Pi_{\gamma j} = 0$ в противном случае);

$C_{\gamma j}$ – элемент матрицы взаимных оценок операторов $C = \|C_{\gamma j}\|$, величина которого соответствует количественной мере оценки j -го оператора γ -м;

ρ_{ki} – частота обращения k -го оператора формируемой группы к i -му в процессе решения функциональных задач управления: $\sum_{i=1}^N \rho_{ki} = 1, 0, \forall k = \overline{1, N}$;
в знаменателе: $Q = \sum_{k=1}^N z_{ki} \rho_{ki}$.

Показатели межличностных отношений операторов определяются на основе специально проводимого опроса операторов, в ходе которого каждому γ -му оператору $\gamma \in \mathcal{A}$ задаются следующие вопросы:

1. К какому из j -тых операторов Вы обратились бы за советом и помощью?
2. С кем из указанных операторов j Вы хотели бы работать?

В качестве количественной оценки в зависимости от ответа γ -го оператора величины $C_{\gamma j}$ могут быть следующие:

- +2 – обратился бы безусловно;
- +1 – обратился бы;
- 0 – безразличие;
- 1 – не обратился бы;
- 2 – не обратился бы ни в коем случае.

Наличие квалификационной матрицы S позволяет определить множество вариантов β комплектования групп управления.

Тогда область компромиссных решений $\beta^* \subseteq \beta$ задачи комплектования будет включать в себя только такие варианты, для которых эффективность работы $P_{\Sigma Q}$ формируемых групп управления будет отвечать ограничению

$$P_{\Sigma Q} \geq P^0. \quad (4)$$

Обозначим список возможных вариантов комплектования групп управления, образующих область компромиссных решений, через $I = \overline{1, Z} (|\beta^*| = Z)$.

Выбор оптимального варианта комплектования определяется принятой схемой компромисса. Показано, что для большинства случаев оправдано применение принципов справедливости. При условии использования схемы компромиссов, основанной на этом принципе, решение задачи совместимости людей сводится к выбору такого варианта комплектования $I^* \in \beta^*$, при котором достигается минимум суммы потерь, т.е.

$$I^* = \text{opt} I = \{I | \max[(1 - P_{\Sigma I}^*) t_1 + t_2(1 - H_1^*) + t_3(1 - Z_1^*)]\} \cap \beta^* = \{I | \max[F]\} \cap \beta^*, \quad (5)$$

где $\{P_{\Sigma I}^*, H_1^*, Z_1^* | I = \overline{1, Z}$ – нормализованное пространство критериев комплектования группы управления;

t_1, t_2, t_3 – коэффициенты ранжировки критериев.

Нормализация критериев комплектования группы управления проводится по идеальному вектору эффективности:

$$E^N = (\max P_{\Sigma I} \max H_1 \max Z_1); I = \overline{1, Z}. \quad (6)$$

Тогда относительные критерии комплектования будут следующая:

$$P_{\Sigma I}^* = \frac{P_{\Sigma I}}{\max P_{\Sigma I}^*}; \quad H_1^* = \frac{H_1}{\max H_1}; \quad Z_1^* = \frac{Z_1}{\max Z_1}. \quad (7)$$

Реализация описанного способа комплектования групп управления возможна как на стадии технического проектирования систем управления, так и на стадии их текущей эксплуатации. В первом случае могут быть определены общие априорные требования к квалификационным и психологическим характеристикам операторов, а во втором указанные характеристики конкретизируются для заданного контингента операторов.

В качестве иллюстрации описанной выше методики рассмотрим пример. Допустим, необходимо сформировать группу управления, эффективность работы которой была бы не ниже $P^0=0,78$. Считаем известными: контингент $m=8$ операторов, прошедших начальную квалификационную подготовку, и их характеристики.

Матрица взаимных связей в формируемой группе ($N=4$) имеет вид

$$z = \|z_{ki}\| = \begin{matrix} & 1 & - & 1 & 1 & 1 \\ & 2 & 1 & - & 1 & - \\ & 3 & 1 & 1 & - & 1 \\ & 4 & 1 & - & 1 & - \end{matrix}$$

Квалификационная матрица δ имеет вид

$$\delta = \|\delta_{\gamma k}\|_{(ij)} = \begin{matrix} & 1 & | & 1 & - & - & - \\ & 2 & | & 1 & 1 & - & - \\ & 3 & | & - & 1 & - & - \\ & 4 & | & - & - & 1 & 1 \\ & 5 & | & - & - & 1 & - \\ & 6 & | & - & - & 1 & - \\ & 7 & | & - & - & - & 1 \\ & 8 & | & - & - & - & 1 \end{matrix}$$

Матрица эффективности работы операторов имеет вид

$$P = \|P_{\gamma k}\|_{\gamma \in \mathcal{A}, k = \overline{1, N}} = \begin{matrix} & 1 & 0,9 & - & - & - \\ & 2 & 0,8 & 0,9 & - & - \\ & 3 & - & 0,8 & - & - \\ & 4 & - & - & 0,8 & 0,7 \\ & 5 & - & - & 0,5 & - \\ & 6 & - & - & 0,4 & - \\ & 7 & - & - & - & 0,8 \\ & 8 & - & - & - & 0,6 \end{matrix}$$

Матрица взаимных оценок операторов по результатам опроса имеет вид

$$C = \|C_{\gamma j}\| = \begin{matrix} & 1 & | & - & +2 & +2 & +1 & 0 & -1 & -2 & +2 \\ & 2 & | & +2 & - & +2 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ & 3 & | & +2 & +1 & - & -1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ & 4 & | & +1 & 0 & +2 & - & -1 & +1 & +1 & -1 \\ & 5 & | & 0 & 0 & -1 & 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ & 6 & | & +1 & +1 & 0 & 0 & -1 & - & -1 & 0 \\ & 7 & | & +1 & -2 & 0 & 0 & 0 & +1 & - & 0 \\ & 8 & | & +1 & +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{matrix}$$

Возможные варианты формирования группы управления приведены в табл. 1

Таблица 1

Варианты формирования групп управления

Номер варианта $I = \overline{1, Z}$	Номера операторов $a_{\gamma k}$ ($\gamma = \overline{1, m}; k = \overline{1, N}$)			
	a_{11}	a_{22}	a_{34}	a_{47}
1	a_{11}	a_{22}	a_{34}	a_{47}
2	a_{11}	a_{22}	a_{34}	a_{48}
3	a_{11}	a_{22}	a_{35}	a_{44}
4	a_{11}	a_{22}	a_{36}	a_{44}
5	a_{12}	a_{23}	a_{34}	a_{47}
6	a_{12}	a_{23}	a_{44}	a_{47}
7	a_{12}	a_{23}	a_{34}	a_{48}
8	a_{12}	a_{23}	a_{36}	a_{44}
9	a_{12}	a_{23}	a_{36}	a_{45}
10	a_{12}	a_{23}	a_{36}	a_{47}

Окончание табл. 1

Номер варианта $I = \overline{1, Z}$	Номера операторов $a_{\gamma k}$ ($\gamma = \overline{1, m}; k = \overline{1, N}$)			
	11	a_{11}	a_{22}	a_{36}
12	a_{11}	a_{22}	a_{36}	a_{48}
13	a_{11}	a_{22}	a_{35}	a_{47}
14	a_{11}	a_{22}	a_{35}	a_{48}
15	a_{12}	a_{23}	a_{35}	a_{47}
16	a_{12}	a_{23}	a_{35}	a_{48}

Эффективность работы формируемой группы управления при $\rho_{ki} = \text{const}$ ($i, k = \overline{1, N}$); $\alpha_1 = 0,7$; $\alpha_2 = 0,1$; $\alpha_3 = 0,1$; $\alpha_4 = 0,1$ представлена в табл. 2

Таблица 2

Эффективность работы формируемой группы управления

Номер варианта, τ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P_τ	0,86	0,86	0,85	0,84	0,77	0,78	0,77	0,76	0,76	0,76	0,83	0,82	0,85	0,83	0,77	0,75

Как видно из табл. 2, область компромиссных решений β^* будут составлять варианты $\beta^* = \{1, 2, 3, 4, 6, 11, 12, 13, 14\}$.

Для указанных вариантов значения коэффициентов социометрической напряженности и социометрической когерентности операторов представлены в табл. 3

Таблица 3

Сравнительный анализ социометрических коэффициентов операторов

Номер варианта, τ	1	2	3	4	6	11	12	13	14
H_τ	1,2	1,2	1,6	0,6	0,6	0,8	1,6	1,6	2,0
I_τ	1,2	1,4	1,0	1,6	0,4	0,8	2,2	0,6	1,4

Величины нормализованных критериев комплектования групп управления для компромиссных вариантов решения при $t_1=0,7$, $t_2=0,1$, $t_3=0,2$ представлены в табл. 4

Из табл. 3 и 4 выражений (2) и (3) следует, что оптимальный вариант комплектования группы управления, учитывающий функционально-структурные и социально-психологические характеристики контингента операторов, соответствует 12-му варианту, при котором $F = 0,93$.

Таблица 4

Нормализованные критерии комплектования групп управления

Номер варианта, τ	1	2	3	4	6	11	12	13	14
H_τ^*	0,6	0,6	0,8	0,8	0,2	0,4	0,8	0,8	1,0
Z_τ^*	0,54	0,43	0,45	0,72	0,18	0,36	1,0	0,27	0,63
$P_{\Sigma\tau}^*$	1,0	0,37	0,96	0,95	0,88	0,94	0,93	0,96	0,34
F	0,86	0,86	0,84	0,88	0,67	0,77	0,93	0,8	0,88

Таким образом, методика позволяет учесть в процессе решения задачи комплектования группы управления профессиональные качества операторов, характер коммуникационных

связей между ними, обусловленной спецификой их профессиональной деятельности в составе расчета, а также межличностные отношения между военнослужащими.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплектование малых групп в формированиях Воздушно-космических сил является важным этапом в обеспечении их боеготовности. Решение этой задачи следует осуществлять таким образом, чтобы в этих группах было бы как можно меньше конфликтных пар и как можно больше взаимоприемлемых. Формальные отношения при этом по возможности максимально должны соответствовать неформальным.

Комплектование дежурных смен и расчетов должно осуществляться с учетом не только эмоциональных отношений военнослужащих, но и с учетом их профессиональной подготовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексное использование различных методов комплектования малых групп в подразделениях, частях и соединениях Воздушно-космических сил при решении разнообразных задач повседневной и боевой деятельности позволяет систематически анализировать динамику межличностных отношений в группах и осуществлять их коррекцию. Это дает возможность целенаправленно управлять взаимоотношениями специалистов любого профиля на основе выявления, сопоставления формальных и неформальных лидеров и микрогрупп.

Список используемых источников

1. Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики / под ред. А.А. Обознова, А.Л. Журавлева. – М: Когито-Центр, 2013. – Вып. 5 – 426 с.
2. Грудинин И.В., Суровкин С.В. Обоснование структуры метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в Воздушно-космической сфере // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 95–108.
3. Кулганов В.А., Гильванов П.Р. Функциональное состояние и работоспособность операторов ракетно-космических комплексов при моделировании экстремальных ситуаций // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 647. – С. 147–155.
4. Кулганов В.А., Гильванов П.Р. Оценка эффективности деятельности операторов с учетом состояния здоровья и физического развития // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 648. – С. 146–152.
5. Кулганов В.А. Интегральная оценка функционального состояния и работоспособности операторов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 192–198.

Basyrov A.G., Ryzhikov Y. I. The problem of modeling information systems calculations accuracy // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 8–16.

In article described the calculation of maintenance systems by the method of matrix-geometric progression (MGP). The calculation of the initial probability vectors of microstates is considered by solving the "general" system of equations. A study was made of the effect on the implementation of the MGP stages of the computing power in the Intel-Fortran environment with 16- and 32-byte representations of complex values. The limits of the possibilities of the MGP method for the number of channels are established for models $M/E_3/n$ and $M/H_2/n$.

Key words: queuing theory, phase approximations, bit depth of computations.

Skorohodov Y.A. Algorithm for the formation of the telemetric processes classification decision rules by probabilistic structure using the given levels exceedances statistics // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 17–26.

The article proposes an algorithm for the formation of the telemetric processes classification decision rules by probabilistic structure, characterized by the introduction of new information features of recognition classes (processes with distribution laws that form a mixture) in the form of multidimensional vectors, the components of which are statistics of the random processes trajectories emission, and the fact that likelihood ratio statistics probability density is calculated using characteristic functions and Fourier transforms, providing more accurate values of the erroneous solutions probabilities in comparison with roughly calculated error probabilities if the likelihood ratio statistics probability density is approximated by a normal distribution.

Key words: adoption of statistical decisions, statistical criteria, Neumann-Pearson criterion, telemetry information, real-time processing, statistical modeling, levels exceedances statistics.

Research of a noise stability of a radar station of the review of space to influence of group of sources of inadvertent noise hindrances / A.V. Galandzovskiy, A.A. Gusarov, A.V. Parshutkin, M. Saidj // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 27–34.

The analitiko-imitating model of functioning of a radar station with an adaptive antenna lattice in the conditions of influence of group of sources of inadvertent noise hindrances is presented. Results of adaptation of the diagramme of an orientation of an antenna lattice are shown at change of position a line of vising of the radar-tracking purpose concerning directions on sources of hindrances. Relations a signal/noise on a receiver input are resulted at influence of group of sources of hindrances. Directions of increase of a noise stability of radar stations are defined.

Key words: Model of functioning of a radar station, adaptive antenna lattices, noise stability, inadvertent noise hindrances.

Tanygin A.V. Correction of the initial configuration of the flight route of the unmanned planing aircraft at the stage of control of feasibility // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 35–43.

The method of correcting the original configuration of the route of flight of a hypersonic unmanned gliding aircraft (UGA) in the feasibility control phase is considered in the article. The selected route is set on the electronic surface of the Earth by control points as intermediate points of guidance in the bypass threat detection and interception zones. There are two presented methods of correcting the configuration of the UGA's route with the displacement coordinates of the specified control points of the trajectory to perform the matching values of the angles between the directions of neighboring control points allowable values calculated using linear interpolation based on the table specified and the corresponding current speed, altitude and range of UGA's flight.

Key words: unmanned gliding aircraft, control points, spherical triangle.

Features of the application of the analytic hierarchy process in the selection of optical-electronic systems segment monitoring airspace / V.I. Gorbulin, N.V. Radionov, M.A. Khodor, Y.A. Chudinovsky // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 44–53.

Marked contradiction between the development of organizational and technical systems and the complexity of the decision on their application. We propose a method to improve the adequacy of the choice of monitoring tools in terms of their application. Analytical dependences for the evaluation of alternatives regarding the prospects of achieving the objectives and the procedure for determining the expert group. Formulated ways to further improve the reliability of the selection.

Key words: choice, reliability, alternatives, critical characteristics, expert opinions, global priority.

Imperial models of water content in cubic metre and water content in square metre of undulatus and stratiform clouds over central region of European territory of Russian to problem of their / A.P. Doronin, N.A. Kozlova, A.B. Lebedev, V.M. Petrochenko, S.A. Shmalko // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 54–61.

Of the base of processing materials of Atmosphere Soundings over Moscow the statistical models of liquid water content in cubic metre (τ/m^3) and liquid water content in square metre (τ/m^2) of undulatus and stratiform clouds over central region of European territory of Russian are given, Received data may be user for planning, preparation and conduction the operations on the clouds with the aim to induce artificial precipitation (on to intensify natural precipitation) or to dissipate (to stabilize) cloud cover to solve a wide circle of applied tasks.

Key words: undulatus clouds, stratiform clouds, modification, water content in square metre, water content in cubic metre, airborne sounding of atmosphere.

Sukhov A.M. The approach to anticipating complex computer attacks in an automated special-purpose system // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 62–77.

The article is devoted to solving the problem of ensuring information security of critical objects from complex computer attacks, in particular, the principles of classification and systematization of typical models and methods of countering computer intrusions are given. The article presents a structural scheme of counteraction to complex computer attacks. The approach to forecasting the implementation of the scenario of complex computer attacks in the information security system is outlined.

Keywords: a critical object, an information threat, an information security system, a computer attack model, a complex computer attack.

Kolesnikov K.G., Masalkin A.A., Moskvina B.V. Application coordination planning of group of remote sensing satellites // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 78–84.

The task of planning the application of a group of Earth remote sensing space is considered on the basis of the use of coordination methods. The criterion for evaluating the effectiveness of the plan is the completeness of the information provided to consumers. Admissibility of the received plan is determined, proceeding from the restrictions imposed on the process of the application of the Earth remote sensing satellite. To solve the task of planning the application of an earth remote sensing satellite, an algorithm is used that corresponds to the ideas of the Danzig-Wulf method, in which the resulting plan for the application of the group is constructed by coordinating plans for the application of remote sensing satellites. The results of the algorithm on the test example are given.

Key words: coordination planning; grouping of spacecraft; remote sensing of the Earth; planning; the Danzig-Wulf algorithm.

Absaljamov D.R., Aitov R.N., Marchenko M.A. A power supply system of ground-based space complexes based on diesel generator sets with variable rotation frequency Kivchun // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 85–92.

A method of enhancing energy performance indicators and technical economic indicators of uninterruptible power systems for ground-based space complexes using diesel generator sets based on an asynchronized synchronous generator is suggested. Economic and operational indicators of diesel power stations characterizing their operation when changing over to an asynchronized synchronous generator with variable rotation frequency are discussed. Advantages and disadvantages and possible use of diesel generator sets with variable rotation frequency in engineering systems of ground-based complexes are analyzed. Novel regression models characterizing dependency of technical economic indicators on rotation frequency and efficient power are presented. The novelty of the method consists in using a new model of power and resource consumption by a diesel generator set with a generator based on a doubly-fed electric machine obtained experimentally and having allowed the design of an adaptive system for controlling specific efficient fuel consumption that ensures minimum fuel consumption under variable load.

Key words: diesel generator set, variable speed, energy saving.

Decrease of electrical energy consumption of objects, which are included into the regional electrotechnical complex, based upon synthesis of procedures of rank analysis / A.I. Avseenko, V.I. Gnatuk, S.A. Dorofeev, O.R. Kivchun // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 93–101.

The phases of decrease of electrical energy consumption of objects, which are included into the regional electrotechnical complex, based upon the model of synthesis of procedures of rank analysis are examined at this article. It is the first time when the control coefficient for the decrease of electrical energy consumption of objects, which are included into the regional electrotechnical complex, is justified and used at this model.

Key words: rank analysis, C-matrix, C-indicator, confidence interval, control coefficient for decrease of electrical energy consumption.

Estimation of the surface properties of the walls of liquid rocket engine chambers for parameters of the light intensity of their digital images / K.V. Alekseev, N.S. Demidova, E.L. Lebedev, A.V. Mikhaylenko // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 102–110.

The issue of the necessity to control the quality of the surface (before soldering, during testing) of the walls of the chambers of perspective liquid rocket engines is considered. The analysis of the basic optical-electronic methods of quality control of surfaces of materials, most suitable for the implementation of this operation, has been carried out. An optoelectronic method of control based on the evaluation and analysis of the intensity of light of each point of the surface of the digital image of the monitored element is presented. The experimental parameters of the intensity of the light signal of the points of the surface surfaces under test (intensity dispersion, total and average intensity) from the roughening and oxidation classes are given.

Key words: quality control, liquid rocket engine, chamber walls, light intensity, intensity dispersion.

Methodology of estimation of losses of carried capacity of metal constructions by results of co-erctimetric control / K.V. Alekseev, E.L. Lebedev, D.P. Mokhnatkin, S.A. Smurov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 111–118.

The regularities of the variation of the coercive force on identical samples made of 15XCHД steel with different degrees of plastic deformation, that is, with induced magnetic anisotropy, in their tensile tests under identical loading conditions are presented. A technique for estimating the loss of load-bearing capacity of metal structures according to the results of coercimetric testing is presented.

Key words: magnetic method of nondestructive testing, mechanical stresses, coercive force, load-carrying capacity

Using acoustics-emission facilities for registration begin formation and developments of the rifts in material body flying machine / K.V. Alekseev, E.L. Lebedev, I.E. Muhin, P.G. Popov, N.S. Samoilov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 119–129.

It is given results of experimental research in area of acoustic emission facilities using with the aim of rifts registration in samples made of alloy 1160 (D16AT). Samples were tested on uniaxial tension together with imitation of rift development caused by technological or operation defect concentrating tension in airframe. Modeling of stress concentrator was realized using technology of liquid metal embrittlement aluminium alloy. It is shown possibility of rift emergence and developing, taking place viscously. It is realized by means of cutting stress from concentrator method, i.e. imitation of defect in the form of rift formed brittle by means of avulsion method. It is justified parameters of acoustic-emission signals, whose informativeness is enough for the rifts emergence in airframes checking task decision. The parameters are amount (N), energy (E) and signals energetic activity (E_E).

Key words: acoustic emission, rift, airframe checking.

Method of improving the efficiency of operation of weapons at the expense of algorithmic solutions of the transportation problem / A.N. Dyakov, E.A. Zherebczov, A.S. Kokarev, D.V. Reshetnikov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 130–137.

The authors propose an algorithm for solving the problem of transportation of spare parts, tools, measuring devices, personnel, the implementation of which computational tools will allow us to plan the delivery of material resources and personnel that are optimal according to the criteria of duration or intensity, thereby to ensure that the implementation timetable for the preparation and launch of a space rocket. Application of the developed algorithm on a computing means does not require special training of decision-makers. The publication also provides an example of solving such problems in the simplest original data.

Key words: transportation problem, providing operational processes, transport in armaments, the effectiveness of the implementation of the operational processes.

Zarin S.V., Iskhakov Sh.Sh, Kovalev F.E. The question of the scientific validity and practical applicability of quantitative measures of reliability of special buildings and constructions of military facilities // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 138–143.

The article shows the possibility and justification of the physical and mechanical relationship between the probability of the emergency condition of the special buildings and constructions, carrying capacity of their elements and categories of their technical conditions.

Key words: reliability, carrying capacity, building object, launch facility.

Zakharov I.V. Model of the functioning of reconfigurable on-board computer system in terms of degradation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 144–152.

Noted shortcomings of existing models of functioning of the on-board computer systems of spacecraft. Indicators of performance of the multimodular reconfigurable computer system and a way of their assessment are offered. The model of degradation of the computer system based on resource approach is presented. Shown option of model building by taking into account the reliability and endurance of elements, energy and operating conditions. Noted the appropriateness of the proposed model.

Key words: computer system, performance, resource, degradation.

Kazantsev A.A., Samorodov A.A., Samorodov B.A. Guidelines for choosing wideband coherent pulse sequence time period in radar imaging of space objects // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 153–162.

Presents requirements for choosing coherent pulse sequence time period for radar imaging of space objects purposes. Considered influence of space objects orbital motion parameters and their scattering characteristics on the choosing process.

Key words: radar imaging, radar signals, radar signal processing, radar cross section, inverse synthetic aperture radar.

Lebedev E.L., Mokhnatkin D.P., Smurov S.A. The coercive force as a diagnostic sign of the presence of plastic deformation in steel construction // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 163–167.

The results of coercive force measurements on identical specimens made of steel St3 with a different degree of plastic deformation, i.e. with an induced magnetic anisotropy, when the test tensile in identical conditions of loading. Comparative analysis of changes in the values of hardness and coercive force of these samples. Shows the advantages of coercitometric method over the method of measurement of hardness in determining the plastic deformation in the steel.

Key words: magnetic method of nondestructive testing, mechanical stress, coercive force.

Management calltive nickel-hydrogen batteries power supply system of the spacecraft / A.V. Nemirov, G.B. Steganov, Y.A. Chudnovskij, I.N. Shtanov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 168–174.

In presented article is shown developed algorithm of management calltive battery, which gives the effect of the alignment offset of the aptlyscribed batteries with the use of the molding cycle to achieve two interrelated goals: the reduction of the integral heat load on all the batteries and ensuring alignment (convergence) of capacities and voltages of the individual batteries at a lower level of charge than during normal forming cycle, i.e. closer to the steady state level of the cycling battery bat-ray. The goal is achieved by the control setpoints of the charging current, a monotonically declining with the passage of the surge charge controlled charger. Application of the method charge with reduced power losses and heat loads, the Nickel-hydrogen batteries has allowed to develop an algorithm for calculating the value of the decreasing current forming in-series with the limit temperatures of all monitored batteries. In addition, the charge falling current allows you to avoid getting excess battery capacity

Key words: power supply system, battery, algorithm.

Stationary systems of control of technical condition of bearing structures as the basis for monitoring the starting structures during their long-term operation / V.A. Popov, V.V. Rybakov, A.V. Sitnikov, V.N. Shelnikov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 175–182.

Experience in the development, creation and operation of stationary systems tests and long-term control (IDK) the technical condition of bearing structures starting structures showed that they are very effective, durable (lifespan of more than 20 years), have a high reliability in process operation and survivability in the event of emergency situations at the facility. The considered systems are

largely remote and automated, allow us to obtain information about the technical condition of individual structural and the entire structure as a whole in the process of construction and operation. The article discusses possible ways to improve the IIR system for monitoring load-bearing structures starting structures on the basis of available operating experience and the application of modern instrumentation and methods of control.

Key words: monitoring, inspection, control, construction design, start construction.

Ptushkin A.I., Reshetnikov D.V., Trishunkin V.V. Life cycle management of critical objects based on convergent technologies // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 183–191.

In the article, from the standpoint of post-non-classical science, the feasibility and feasibility of applying a set of convergent technologies consisting of information-cognitive-social technologies for solving life-cycle management tasks of critical objects for national security of the Russian Federation are considered. Methodological bases of application of technical and social cyber-physical systems for maintenance of introduction of convergent technologies in a control system of a life cycle are discussed. A set-theoretical model of this system is proposed, on the basis of which a logical-linguistic description of conflict situations arising during its functioning and algorithms for their resolution is given.

Key words: post-non-classical science, convergent technologies, life cycle, control system, critical object, cyber-physical system, sociotechnical system, set-theoretical model.

Starusev A.V. The analysis of emergency factors and system «the operator – operated active means - environment» - the way to prevention of incidents at tests of special technics // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 192–200.

The system analysis «the operator - operated active means - environment» is carried out and the complex decision of the problems connected with it, such as the analysis of dynamics of behaviour of the operator and its system characteristics is considered. The method with which help is considered it is possible to define probability of flight incident at an interesting stage of flight because of occurrence of this or that emergency.

Key words: the analysis of emergency factors, tests of special technics, safety of flight, dynamics of behaviour of the operator, prevention of emergency incidents.

Procedure for the synthesis of polymercement foam concrete for building non-public road of Ministry of Defense of the Russian Federation / A.M. Sychova, Y.A. Kamenev, A.S. Solomahin, V.I. Gera, A.V. Matskevich // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 201–209.

The article shows the procedure for the synthesis of polymercement non-autoclave foam concrete with a complex of new physic-mechanical properties. The use of such material as one of layers of the pavement construction will increase the energy-absorbing of the entire structure. And to obtain a margin of safety according to the conditions of elastic deflection and resistance of the layers to fatigue fracture, shear strength and thermal resistance.

Key words: pavement construction, polymercement foam concrete, polymer, energy-absorbing.

Golubev M.A., Maslov V.P, Selikhina N.V. Stages of forming competencies in the design of the main professional educational programs // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 210–218.

The approach to planning the stages of forming competencies in the design of the main professional educational programs for training cadets of the Academy in specialty programs is considered in the article. This approach is based on determining the stages of the formation of competencies,

taking into account the structural and logical interrelationship, establishing a meaningful coordination of the process of their formation by a number of disciplines of the curriculum, and also the correspondence of the stages of their competence formation to the planned learning outcomes in the study of a separate discipline.

Key words: stages of competence formation, main professional educational program, competency matrix, competency maps, planned learning outcomes.

Gorshkov M.A., Okynev S.Y. Some legal and substantive aspects of patriotic education of cadets of military higher school in the course of study of the discipline "Military history // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 219–224.

In article on the basis of the analysis of a number of laws and legislative acts shows the evolution of subjectivity Patriotic education in the Russian Federation, the peculiarities of the content of Patriotic education in the military structure of the state and in the military College, shows the influence of the content of the discipline "Military history" on the formation of patriotism of students.

Key words: patriotism, patriotic education, the state-patriotic education, military education, cadets of a military higher school, military history.

Kuzhekin N.S., Kurday N.V., Paukov A.B. Formation of methodical qualification of cadets in the course of mastering the basic professional educational program // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 225–228.

The article analyzes the state of work on the formation of command-method skills among cadets and the problems in this direction of activity, proposals are formulated aimed at improving the methodical qualification of cadets in the course of mastering the basic professional educational program.

Key words: command-method skills, methodical qualification, basic professional educational program.

Kuzhekin N.S., Repyakh N.A., Hrustova A.N. Methodological problems of development of the program of professional training of pedagogical workers in the military educational institution // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 229–232.

The publication discusses the actual problems of developing an additional professional program for the professional retraining of pedagogical workers, the goals of its development and levels of training, the requirements for educational technologies are defined.

Key words: professional retraining program, competence, levels of training, educational technologies.

Kunturova N.B., Prokofieva A.L. Analysis of the Results of the Pedagogical Experiment In-depth Study of Foreign Language with the Help of E-learning Course by Future Specialists of Information-Analytical Centers // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 233–238.

The article considers pedagogical experiment in-depth study of a foreign language based on modern information technology in the form of e-learning course which aims to improve the quality of learning a foreign language future specialists of information-analytical centers. There analyzed some of the results of the experiment.

Key words: e-learning course, improving the efficiency of learning a foreign language, pedagogical experiment.

Guzenko V.L., Fattakhov R.F., Fedirko A.A. Risk management as the basis of military service security activities // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 239–247.

On the analysis basis the article summarizes the key concepts, indicators and risk assessment criteria that arise in daily military units. The analysis results have formulated the risk evaluation methodology to make decisions on military service security.

Key words: risk, danger, military service security.

Bagrecov S.A., Kulganov V.A., Fomichev A.D. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 658. – P. 248–253.

The development of new types of weapons has put the commanders and staff officers before the need for a comprehensive effective fighting units of the aerospace defence forces. Is important psychological support of joint actions of operators of combat duty.

The article presents a methodology of acquisition small groups through the use of the conditional criterion of preference. It allows you to consider professional quality of operators, the communications linkages between them, as well as interpersonal relationships between professionals, operators.

Key words: psychological support, small group, psychological compatibility, the sociometric coefficients of tension and coherence.

Абсалямов Дамир Расимович, профессор 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (911) 244-33-13, e-mail: damir73@yandex.ru

Авсеенко Александр Иванович, начальник 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-44, e-mail: avseenko@mail.ru

Аитов Ренат Наильевич, адъюнкт 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-44, e-mail: reshka462@mail.ru

Алексеев Константин Владимирович, заместитель начальника 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Багрецов Сергей Алексеевич, старший научный сотрудник 61-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 779-86-94, e-mail: komsz@list.ru

Басыров Александр Геннадьевич, начальник 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-24, e-mail: alexandrerbас@mail.ru

Галандзовский Алексей Викторович, старший преподаватель 37-й кафедры – начальник радиоэлектронной борьбы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: avg_1982@mail.ru

Гера Василий Иосифович, начальник 4-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 833-41-13.

Гнатюк Виктор Иванович, профессор кафедры математики филиала ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» в г. Калининграде (236036, Россия, Калининград, Советский пр-т, 82); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(4012) 50-23-84, e-mail: mail@gnatukvi.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 (812) 347-97-31.

Горбулин Владимир Иванович, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 299-27-76, e-mail: v_gorbulin@mail.ru

Горшков Михаил Александрович, преподаватель 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук; тел.: 8 (921) 928-53-73, e-mail: gorshmikhail@yandex.ru

Гузенко Виталий Леонидович, профессор 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13); кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-29.

Гусаров Александр Александрович, начальник 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: gusar.78@mail.ru

Демидова Наталья Сергеевна, младший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-11.

Доронин Александр Павлович, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: doronin52@mail.ru

Дорофеев Сергей Алексеевич, начальник 512-й кафедры филиала ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» в г. Калининграде (236036, Россия, Калининград, Советский пр., 82); кандидат технических наук; тел.: 8(4012) 50-23-84, e-mail: dorofeev1973@mail.ru

Дьяков Алексей Николаевич, старший преподаватель 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-35, e-mail: Dyakoval@yandex.ru

Жеребцов Евгений Александрович, заместитель начальника по материально-техническому обеспечению Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны (150001, Россия, Ярославль, Московский пр., 28); тел.: 8 (4852) 73-17-77, e-mail: vka-yar@mil.ru

Зарин Сергей Владимирович, адъюнкт 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 900-97-98, e-mail: sergeyzarin27091989@gmail.com

Захаров Иван Вячеславович, докторант 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 776-29-58, e-mail: x.vano-z80@yandex.ru

Исхаков Шавкат Шамильевич, доцент 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8-921-643-55-41.

Казанцев Александр Александрович, начальник 422-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) – старший научный сотрудник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 393-95-72, e-mail: alexandralexandrkazantsev@gmail.com

Каменев Юрий Александрович, адъюнкт 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 972-38-22, e-mail: scuto@mail.ru

Кивчун Олег Романович, старший преподаватель 512-й кафедры филиала ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» в г. Калининграде (236036, Россия, Калининград, Советский пр., 82); кандидат технических наук; тел.: 8(4012) 50-23-84, e-mail: oleg_kivchun@mail.ru

Ковалев Федор Евгеньевич, старший преподаватель 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8-911-028-09-69, e-mail: kovaleff81@mail.ru

Козлова Наталья Александровна, начальник отделения лабораторного оборудования отдела МТО Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-41, e-mail: cozlowa.nat2012@yandex.ru

Кокарев Алексей Сергеевич, преподаватель 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-35, e-mail: Askokarev@gmail.ru

Колесников Константин Григорьевич, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 231-54-32, e-mail: kongrikol@rambler.ru

Кужекин Николай Сергеевич, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-96.

Кулганов Владимир Александрович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор медицинских наук, профессор; тел.: 8 (921) 756-24-00, e-mail: kulganof@mail.ru

Кунтурова Надежда Борисовна, профессор 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук; тел.: 8 (812) 347-96-31, e-mail: giz26@rambler.ru

Курдай Николай Владимирович, заместитель начальника 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29.

Лебедев Андрей Борисович, доцент 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-52, e-mail: lebandbor@rambler.ru

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Марченко Михаил Андреевич, старший преподаватель 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (905) 255-45-40, e-mail: 2011martchenko@gmail.com

Масалкин Александр Алексеевич, научный сотрудник 271-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 740-02-63; e-mail: of.mas632@yandex.ru

Маслов Владимир Петрович, профессор 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29.

Мацкевич Андрей Вадимович, доцент 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (921) 798-55-43.

Михайленко Александр Владимирович, адъюнкт 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-11.

Москвин Борис Владимирович, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (953) 352-92-63, e-mail: z-moskvin@mail.ru

Мохнаткин Дмитрий Петрович, начальник учебной лаборатории 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-11.

Мухин Иван Ефимович, заместитель Генерального конструктора по инвестпроектам АО «Авиаавтоматика» имени В.В. Тарасова» (Россия, Курск, проезд Светлый, 9); доктор технических наук; тел.: 8 (4712) 58-52-30.

Немиров Алексей Владимирович, преподаватель 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: sgb022.steganov@yandex.ru

Окунев Сергей Юрьевич, доцент 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук, доцент; тел.: 8 (911) 957-34-93, e-mail: sergokun71@mail.ru

Паршуткин Андрей Викторович, профессор 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: andydc2010@mail.ru

Пауков Александр Борисович, начальник 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29.

Петроченко Вячеслав Михайлович, доцент 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: vmpetrochenko@mail.ru

Попов Виктор Александрович, старший научный сотрудник 151-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Мо-

жайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 347-96-10, e-mail: poviktal2015@yandex.ru

Попов Павел Геннадьевич, курсант 131-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-11.

Прокофьева Анна Леонидовна, доцент 113-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 343-06-11, e-mail: a_prokofieva@mail.ru

Птушкин Анатолий Иванович, профессор 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-97-35, e-mail: anatoly.ptushkin2011@yandex.ru

Радионов Николай Васильевич, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 774-09-16, e-mail: radiopov_nv@mail.ru

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, доцент; тел.: 8 (911) 990-02-38, e-mail: utkinodacha@yandex.ru

Решетников Дмитрий Владимирович, доцент 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-97-35, e-mail: reshetnikovdv@yandex.ru

Рыбаков Вячеслав Вячеславович, начальник 153-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-10, e-mail: vribakov@rambler.ru

Рыжиков Юрий Иванович, профессор 27-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ; тел.: 8(812)347-95-25; e-mail: ryzhbox@yandex.ru

Саидж Махди, адъюнкт 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: mexdi2001@mail.ru

Самойлов Николай Семёнович, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Самородов Алексей Аркадьевич, старший научный сотрудник 42-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) 393-95-72, e-mail: superalex1964@inbox.ru

Самородов Борис Аркадьевич, старший научный сотрудник 421-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 393-95-72.

Селихина Наталия Викторовна, старший преподаватель 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-29.

Ситников Алексей Витальевич, начальник 151-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-10, e-mail: sitnikov-515@mail.ru

Скороходов Ярослав Анатольевич, начальник лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-59, e-mail: yaroslavskor@gmail.ru

Смуrow Сергей Алексеевич, курсант 131-й учебной группы 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-11.

Соломахин Андрей Сергеевич, доцент 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (921) 912-02-91, e-mail: solomahina@mail.ru

Старусев Андрей Викторович, заместитель начальника научно-исследовательского испытательного управления 4 Государственного центрального межвидового полигона Министерства обороны Российской Федерации (416540, Астраханская обл., г. Знаменск, пр. 9 Мая, 57); кандидат технических наук; тел.: 8 (906) 459-06-16, e-mail: starusev-av@yandex.ru

Стеганов Геннадий Борисович, доцент 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: sgb022.steganov@yandex.ru

Сухов Александр Максимович, адъюнкт 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (918) 024-36-23, e-mail: 19am87@mail.ru

Сычева Анастасия Максимовна, профессор 42-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (921) 857-22-17, e-mail: amsychova@yandex.ru

Таныгин Андрей Валерьевич, адъюнкт 26-й кафедры Военной академии РВСН имени Петра Великого (143900, Россия, Московская обл., г. Балашиха, ул. Карбышева, 8); тел.: 8 (977) 955-84-10, e-mail: clubberhit@mail.ru

Тришункин Владимир Викторович, заместитель Главнокомандующего ВКС по материально-техническому обеспечению (119160, Россия, Москва, ул. Знаменка, 19); кандидат экономических наук; тел.: 8 (495) 696-97-00, e-mail: reshetnikovdv@yandex.ru

Фаттахов Руслан Фаритович, заместитель начальника 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-95-29, e-mail: fattarus@yandex.ru

Федирко Александр Александрович, доцент 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-95-29, e-mail: fedir300@mail.ru

Фомичев Андрей Дмитриевич, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 999-94-88, e-mail: vip.fomichev1979@mail.ru

Ходор Михаил Александрович, преподаватель 95-й кафедры, адъюнкт заочной формы обучения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 971-17-21, e-mail: khodorvvv@mail.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

Чудновский Юрий Анатольевич, доцент 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-22, e-mail: sgb022.steganov@yandex.ru

Шмалько Светлана Анатольевна, преподаватель 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: taraton_23@mail.ru

Штанов Иван Николаевич, старший преподаватель 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: sgb022.steganov@yandex.ru

Щельников Валерий Николаевич, старший научный сотрудник 153-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-10, e-mail: 9342722@yandex.ru

Абсаямов Дамир Расимович, профессор 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (911) 244-33-13, e-mail: damir73@yandex.ru

Бакурский Клим Валерьевич, профессор 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доцент; тел.: 8 (812) 347-95-31.

Басыров Александр Геннадьевич, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 248-57-80, e-mail: alexanderbas@mail.ru

Башкирцев Виктор Павлович, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук, доцент; тел.: 8 (911) 218-23-57.

Власов Сергей Александрович, доцент 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-16.

Горбулин Владимир Иванович, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 299-27-76, e-mail: v_gorbulin@mail.ru

Григорьев Андрей Николаевич, профессор 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-99-51.

Захарчук Илларион Иванович, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-25.

Карагодин Владимир Викторович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-44.

Каргу Дмитрий Леонидович, начальник 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 964-08-60, e-mail: dmitrii_kargu@mail.ru

Косырев Сергей Викторович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-93.

Кужекин Николай Сергеевич, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, профессор; тел.: 8 (911) 794-16-72.

Кукушкин Игорь Олегович, начальник 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-14.

Лепешкин Сергей Анатольевич, заместитель начальника 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-60.

Летучий Юрий Александрович, старший научный сотрудник 32-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 235-28-71, e-mail: vka.52@mail.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

Мионов Александр Николаевич, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-96-13, e-mail: mironov-anik@yandex.ru

Онуфрей Андрей Юрьевич, ведущий научный сотрудник 5-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 230-28-15.

Пешехонов Николай Егорович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент.

Пятков Вячеслав Викторович, профессор 82-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 297-11-10, e-mail: peatkov@niitv.ru

Садин Дмитрий Викторович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-11, e-mail: sadin@yandex.ru

Самойлов Николай Семёнович, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Сурин Дмитрий Васильевич, профессор 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (963) 248-41-11.