

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

Выпуск 660

2018 г.

Издатель:

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

Редакционный совет

Председатель:

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

Члены редакционного совета:

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

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

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

М.А. Еремеев – начальник управления в/ч 74455 *доктор техн. наук, проф.*;

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

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

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

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

Главный редактор:

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

Редколлегия:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Подписано к печ. 15.03.2018.
Формат печатного листа 445×300/4.
Уч.-печ. л. 75,00. Уч.-изд. л. 37,25
Тираж 50 экз. Заказ 3626/107.
Отпечатано в типографии
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Калинин В.Н.* Оптимальное управление информационным взаимодействием космического аппарата с поверхностью Земли в условиях случайных возмущений 6
- Качура Я.О., Сапрыкин Д.И., Фалеев П.А.* Моделирование военно-политической деятельности государств методами ассоциативного анализа в системах поддержки принятия решений 19
- Кобзарев И.М., Копкин Е.В.* Алгоритм выбора дискретных диагностических признаков по критерию максимума эффективности информации 30

СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ

- Вознюк В.В., Куценко Е.В.* Помехоустойчивость систем радиосвязи с двоичными фазоманипулированными широкополосными сигналами при воздействии ретранслированных компенсационных помех типа прямой инверсии сигнала 44
- Квасов М.Н., Косяков Е.Н., Шадрин А.Г.* Методика обоснования требований к оперативности реконфигурации узлов сети информационного обмена 57
- Мальцев Г.Н., Сакулин Е.А.* Анализ общего решения задачи прогнозирования точности расчета орбит навигационных космических аппаратов 63

СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

- Бережной И.В., Карин А.И., Карин С.А.* Алгоритмы комплексной обработки геоинформации в системах специального назначения 73
- Горянский А.С., Карытко А.А., Пророк В.Я.* Методика ранжирования космических объектов при планировании сбора информации оптико-электронными средствами мониторинга околоземного космического пространства 79
- Новиков А.Н., Смагин В.А., Ширямов О.А.* Алгоритм определения вариантов структуры системы передачи единиц величин с заданными ограничениями ... 89

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Бессольцев В.Е., Марков П.Н., Сазонов К.В.* Уязвимости интерфейса пользователя веб-приложения 100
- Лукьянов Р.В.* Методика контроля состояния информационной безопасности автоматизированных систем в условиях разнородно-массовых инцидентов ... 111

| | |
|--|-----|
| <i>Лукьянов Р.В.</i> Способ контроля состояния информационной безопасности автоматизированных систем | 116 |
|--|-----|

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| <i>Абраменков В.В., Гаврилов А.Д., Майбуров Д.Г.</i> Обоснование подхода к построению системы селекции движущихся целей радиолокационных станций обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов | 122 |
|--|-----|

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

| | |
|---|-----|
| <i>Ардашов А.А., Сасункевич А.А., Софьин А.П., Фёдорова Л.А.</i> Обоснование геометрических параметров звеньев манипулятора космического робота | 130 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Белянин Д.Г., Грибакин В.А., Перфильев А.С., Пирогов С.Ю.</i> Оценка технико-экономического эффекта применения многоразовых элементов конструкции ракет-носителей | 138 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| <i>Воронин А.Е., Пешехонов Н.Е.</i> Математическая модель задания требований к надежности системы электроснабжения специального объекта | 146 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Гера В.И., Калмыков Е.В., Мосягин Р.А.</i> К вопросу о формировании оптимального состава расчетов поддержания в готовности энергомеханического оборудования | 153 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| <i>Герасименко С.Ю., Грибакин В.А., Перфильев А.С., Султанов А.Э.</i> Стабилизация соотношения компонентов топлива в камерах ракетных двигателей за счет применения комбинированной системы управления расходом топлива | 160 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Грибакин В.А., Дёма И.А., Перфильев А.С., Пирогов С.Ю.</i> Оценка тенденций изменения структуры параметрического ряда ракет-носителей в условиях увеличения количества пусков малых космических аппаратов | 167 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| <i>Грибакин В.А., Перфильев А.С., Пирогов С.Ю.</i> Методика оценки аэродинамических характеристик отделяемых частей ракет-носителей | 172 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| <i>Дьяков А.Н.</i> Расчет показателей эксплуатационно-экономической эффективности | 180 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Загорный С.В., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л.</i> Обоснование подходов к построению моделей прогнозирования риска для комплексов заправки ракет космического назначения | 190 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Ивановский В.С., Кузнецова Н.В., Пенкин Н.Н., Стиваков М.А.</i> Методика генерирования случайных процессов изменения расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения | 197 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Карасёв С.Ю., Ладышкин Г.С., Сурин Д.В., Шевчук А.М.</i> Способ обоснования расчетных степеней защиты специальных сооружений при воздействии обычных средств поражения противника | 204 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Кулганов В.А., Свитнев И.В., Соколов Д.А.</i> Физико-химические особенности аэрозолеобразующих составов и их учет при использовании в учебно-боевой деятельности Воздушно-космических сил | 209 |
| <i>Маркин Д.В.</i> Модель определения комплексной значимости телеметрируемых параметров ракет-носителей | 219 |
| <i>Плоткина В.А., Стародубцев П.А.</i> Исследование влияния шероховатости трех видов поверхности на параметры течения в турбулентном пограничном слое | 225 |
| <i>Черепанов Н.М., Шаймарданов А.М.</i> Асимптотическая устойчивость в целом широтно-импульсных систем | 234 |

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

| | |
|---|-----|
| <i>Казахов Б.Д., Колягин Д.А., Шалонов Е.В.</i> Формирование профессиональной компетентности обучающихся в ходе исследовательских командно-штабных военных игр..... | 240 |
|---|-----|

ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК

| | |
|--|-----|
| <i>Казакова И.Б.</i> Особенности начального этапа расследования умышленного уничтожения или повреждения военного имущества общепасным способом (путем взрыва)..... | 246 |
| <i>Лосик А.В., Розанова Л.В., Щерба А.Н.</i> Исследовательская и конструкторская деятельность в области артиллерии, инженерного дела и ракетной техники преподавателей и выпускников 2-го Кадетского корпуса в XVIII-XIX веках | 257 |
| <i>Огородников В.П.</i> Экономико-политические и идеологические детерминанты современной войны | 267 |
| <i>Репях Н.А., Хрустова А.Н.</i> Гуманизм космофилософских идей Н.Ф. Фёдорова | 276 |
| Рефераты статей | 282 |
| Сведения об авторах | 291 |
| Сведения о рецензентах | 298 |

В.Н. Калинин,
доктор техн. наук, профессор

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ В УСЛОВИЯХ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В статье рассматривается ряд задач космической кибернетики, связанных с оптимальным управлением процессами информационного взаимодействия космического аппарата с поверхностью Земли в условиях случайных возмущений. Космический аппарат совершает неуправляемый полет по орбите вокруг Земли, информационное взаимодействие с поверхностью Земли осуществляется с помощью одного прибора с ограниченным пополняемым ресурсом. Множество информационного взаимодействия на земной поверхности представляет собой заданный отрезок трассы полета. Динамическая модель информационного взаимодействия представлена в виде линейного интегрального оператора Фредгольма. В качестве случайного фактора, влияющего на результат взаимодействия, рассматривается распределение коэффициента прозрачности околоземной геофизической среды вдоль трассы полета. В качестве критерия оптимальности выбрано требование максимума математического ожидания линейного терминального функционала, характеризующего относительную ценность получаемой информации. Показано, что соответствующие задачи стохастически-оптимального управления сводятся к задаче оптимального программного управления ляпуновского типа, которая решается на основе применения концепции погружения Лагранжа.

Ключевые слова: космическая кибернетика, космический аппарат, информационное взаимодействие, пространство информационных состояний, класс допустимых случайных возмущений, вероятностное пространство, гильбертово пространство, стохастически-оптимальное терминальное управление, задача ляпуновского типа, концепция Лагранжа.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–4] показано, что анализ целевых и системных аспектов функционирования космического аппарата (КА) приводит к целесообразности использования для его математического описания концепции *активного подвижного объекта* (АПО) [5], под которым понимается сложная подвижная система, перемещающаяся в пространстве и предназначенная для информационного, энергетического или вещественного взаимодействия с окружающей физической средой либо с другими подобными системами и снабженная соответствующей бортовой аппаратурой и необходимым ресурсом. Эта концепция в последнее время успешно применяется как инструмент адекватного концептуального и математического моделирования сложных объектов современной ракетно-космической техники и разработки алгоритмического и программного обеспечения соответствующих автоматизированных систем управления [6–9 и др.].

В соответствии с такими взглядами КА наблюдения за поверхностью Земли, совершающий свободный полет по околоземной орбите, может интерпретироваться как *информационный активный подвижный объект*, предназначенный для осуществления *информационного взаимодействия с поверхностью Земли*, под которым понимается сбор информации о состоянии объектов на земной поверхности с помощью бортовых оптических и радиоэлектронных средств (соответствующие процессы в литературе получили название процессов дистанционного зондирования Земли [6]). Концептуальное и математическое описание подобных КА приведено в работах [3, 4], где рассмотрены математические модели этих КА как объектов управления, реализующих указанное информационное взаимодействие.

Важная принципиальная особенность указанных моделей заключается в том, что *состояние информационного взаимодействия* характеризуется достигнутым к рассматриваемому моменту времени распределением информации по заданному множеству точек земной по-

верхности, которое называется *множеством информационного взаимодействия*. Это означает, что для описания указанного состояния недостаточно использования конечномерных конструкций, а требуется представление текущего состояния соответствующего процесса в виде элемента бесконечномерного, функционального пространства. В работах [3, 10, 11] на основе соответствующих математических моделей рассмотрен ряд задач оптимального программного управления *информационным взаимодействием* космического аппарата с поверхностью Земли с учетом ограниченности имеющегося на борту КА ресурса, расходуемого в процессе информационного взаимодействия. При этом рассматривались континуальные и дискретные множества информационного взаимодействия на поверхности Земли.

Общей чертой всех указанных задач оптимального управления являлся их детерминированный характер, т.е. предполагалось, что возмущающие воздействия на информационные процессы отсутствуют. Однако в реальных условиях информационного взаимодействия это условие не выполняется – физическим носителем информации в рассматриваемых задачах являются электромагнитные волны, распространение которых в околоземном пространстве сопровождается сложными и априори неопределенными эффектами затухания, дифракции и преломления, что приводит к искажению получаемой информации по сравнению с детерминированными условиями взаимодействия.

В настоящей статье рассматривается ряд задач оптимального управления одномерным процессом информационного взаимодействия *с учетом возмущений* в предположении, что они носят *случайный характер* и проявляются в затухании полезного сигнала и соответствующем снижении количества принимаемой информации.

Для постановки этих задач уточним исходные допущения, лежащие в основе используемых моделей и общей характеристики рассматриваемых процессов информационного взаимодействия. А именно, примем следующие предположения:

1. КА совершает неуправляемый орбитальный полет в центральном гравитационном поле Земли при отсутствии механических возмущений.

2. Информационное взаимодействие с поверхностью Земли осуществляется с помощью одного прибора, ось диаграммы направленности которого совпадает с местной вертикалью КА.

3. Множество информационного взаимодействия представляет собой отрезок трассы полета КА на поверхности Земли.

4. На борту КА имеется один непополняемый ресурс, расходуемый в процессе информационного взаимодействия.

5. Запаздыванием информационных сигналов вследствие конечной скорости их распространения можно пренебречь.

6. При задании возмущающих воздействий будем предполагать, что их влияние на рассматриваемые информационные процессы характеризуется случайным затуханием сигналов в среде распространения информации с полностью заданным вероятностным описанием.

Для дальнейшего рассмотрения соответствующих задач управления уточним необходимые математические элементы их постановки.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

1. Математическая модель информационного взаимодействия КА с поверхностью Земли в условиях случайных возмущений. Будем рассматривать исследуемые процессы информационного взаимодействия на некотором заданном интервале времени

$$\sigma = [t_0, t_f] \subset [0, \infty), \quad t_f > t_0, \quad (1)$$

где t_0 – начальный момент времени;

t_f – конечный момент времени.

При указанных выше допущениях центр масс КА в соответствии с законами Кеплера будет совершать плоское движение по эллиптической орбите, один из фокусов которой совпадает с центром Земли. Будем считать это движение заданным и представленным **кинематической моделью** вида

$$\vec{r} = \vec{r}(t), \quad t \in \sigma, \quad (2)$$

в которой \vec{r} – радиус-вектор, соединяющий центр Земли с центром масс КА, а $\vec{r}(\cdot)$ – соответствующее заданное инъективное отображение: $\sigma \rightarrow R^3$ (рис.1).

Будем рассматривать такой радиус-вектор в **относительной экваториальной геоцентрической декартовой системе координат**. При этом центр масс КА, которому на рис. 1 соответствует точка A , перемещается из некоторого начального положения A_0 в конечное A_f . На рис.1 показаны также **трасса полета** КА (геометрическое место подспутниковых точек A' пересечения радиуса-вектора центра масс КА с поверхностью Земли) и ее отрезок $A'_0 A'_f$, который отвечает рассматриваемому интервалу времени.

Уточним **множество информационного взаимодействия**, а именно, ограничимся предположением, что оно совпадает с указанным отрезком $A'_0 A'_f$ **трассы полета** КА. В этом случае целесообразно ввести естественную параметризацию этого отрезка, сопоставив каждой его точке C длину дуги трассы, отсчитываемую от точки D пересечения трассы с плоскостью экватора. Обозначим эту длину через ρ и будем рассматривать ее как координату указанной точки. При этом участку трассы $A'_0 A'_f$ взаимно однозначно сопоставляется отрезок вещественной оси $\Delta = [a_0, a_f] \subset R^1$, где a_0 и a_f – значения параметра ρ , отвечающие начальной и конечной точкам дуги $A'_0 A'_f$ соответственно.

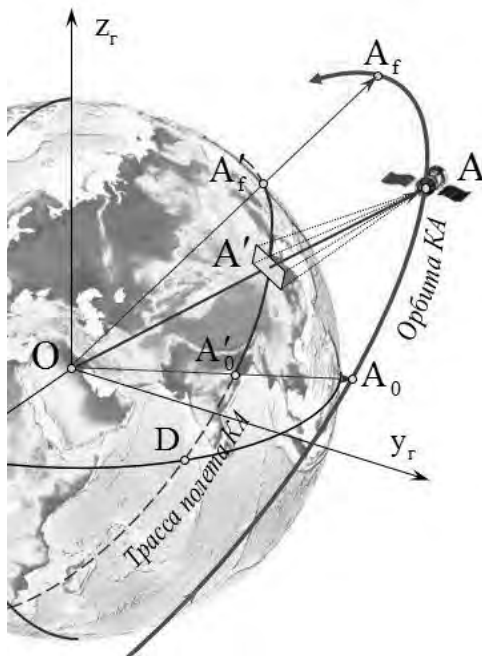


Рис.1. Орбита и трасса полета КА

В соответствии с математической моделью, предложенной в работах [3, 4], текущее **состояние информационного взаимодействия (информационное состояние)** для каждого момента времени будем характеризовать неотрицательной вещественной функцией $\gamma(\cdot, t): \Delta \rightarrow R^1$, представляющей распределение полученной информации вдоль рассматриваемого участка трассы полета к моменту времени $t \in \sigma$. Определенное таким образом **инфор-**

мационное состояние является элементом функционального пространства вещественных функций, найденных на множестве Δ . Обозначим это пространство через $X(\Delta)$ и будем называть его **пространством информационных состояний**.

Как показано в упомянутых выше работах [3, 4], при отсутствии возмущений соответствующее принятым допущениям **уравнение информационного состояния** может быть представлено **линейным интегральным оператором Фредгольма**:

$$\gamma(\rho, t) = \int_{t_0}^t M(\rho, \tau) u(\tau) d\tau. \quad (3)$$

В этой формуле u – интенсивность (скорость) информационного взаимодействия, рассматриваемая в дальнейшем как соответствующее управляющее воздействие, при этом $u = u(t)$;

$\rho \in \Delta = [a_0, a_f]$, $t \in \sigma = [t_0, t_f]$, $M(\rho, \tau)$ – ядро оператора.

Конкретный вид ядра оператора в общем случае определяется движением центра масс КА: векторной функцией (2) и характеристиками вращения Земли, а также диаграммой направленности информационного взаимодействия. В дальнейшем будем полагать, что ядро оператора $M(\rho, \tau)$ представляет собой **неотрицательную ограниченную и кусочно-непрерывную вещественную** функцию, заданную на $\Delta \times \sigma \subset R^2$ и удовлетворяющую условию нормировки

$$\forall(\tau \in \sigma) \int_{a_0}^{a_f} M(\rho, \tau) d\rho = 1. \quad (4)$$

Как уже указывалось, **информационное состояние** является элементом функционального пространства $X(\Delta)$ вещественных функций, определенных на отрезке Δ . Уточним структуру этого пространства, а именно будем предполагать, что это пространство представляет собой гильбертово пространство $L^2(\Delta)$ всех вещественных функций, определенных и суммируемых с квадратом на отрезке Δ . Тогда эволюцию информационного состояния можно представить в виде абстрактной функции

$$x(t) = \gamma(\cdot, t). \quad (5)$$

Очевидно, что интегральное соотношение (3) эквивалентно дифференциальному уравнению в функциональном пространстве $X(\Delta)$ следующего вида:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial \gamma(\cdot, t)}{\partial t} = M(\cdot, t) u \quad (6)$$

при начальном условии

$$x(t_0) = \gamma(\cdot, t_0) = 0. \quad (7)$$

Уточняя область определения рассматриваемого оператора, будем предполагать, что управляющее воздействие принадлежит **классу допустимых управляющих воздействий (допустимых управлений)**, который зададим в виде

$$U_\sigma = \{u_\sigma = u(\cdot) : \sigma \rightarrow R^1 | (\forall \tau \in \sigma)(0 \leq u \leq c); S_u\}, \quad (8)$$

где c – заданное положительное число (максимальная интенсивность взаимодействия);

S_u – теоретико-функциональные условия, накладываемые на управляющее воздействие и в данном случае трактуемые как измеримость по Лебегу.

Перейдем теперь к **стохастическому варианту** рассмотренной математической модели. С этой целью введем в состав описанной детерминированной модели характеризующий возмущения мультипликативный параметр

$$\eta = \eta(\rho), \quad (9)$$

который будем называть **коэффициентом прозрачности** околосредной геофизической среды, и представим соответствующее уравнение информационного состояния оператором

$$\gamma_s(\rho, t) = \eta(\rho)\gamma(\rho, t) = \eta(\rho) \int_{t_0}^t M(\rho, \tau)u(\tau)d\tau. \quad (10)$$

Уточним класс допустимых распределений коэффициента прозрачности среды вдоль трассы полета, задав его в виде:

$$V_\Delta = \{y_\Delta = y(\cdot) : \Delta \rightarrow R^1 | (\forall \rho \in \Delta)(0 \leq y \leq 1); S_v\}, \quad (11)$$

где S_v – теоретико-функциональные условия, накладываемые на функции $y(\cdot)$. В качестве таких условий будем рассматривать требование измеримости по Лебегу.

2. Математическая модель случайных возмущений. Для вероятностного описания рассматриваемых случайных возмущений введем *вероятностное пространство* элементарных событий [12]

$$\{\Omega, \mathfrak{A}, P\}, \quad (12)$$

где Ω – множество элементарных событий ω ;

\mathfrak{A} – σ -алгебра подмножеств Ω ;

$P(A)$ – вероятностная мера, определенная на \mathfrak{A} .

Множества $A \in \mathfrak{A}$ при этом рассматриваются как случайные события, а значения вероятностной меры этих множеств – как вероятности соответствующих событий.

Случайное возмущение из класса (10) определим как некоторое отображение [12, 13]

$$f(\cdot) : \Omega \rightarrow V_\Delta, \quad \eta(\cdot) = \eta(\cdot, \omega) = f(\omega), \quad (13)$$

с заданием которого в классе допустимых возмущений формируется вероятностная структура

$$\{V_\Delta, \mathfrak{B}_f, P_f\}, \quad (14)$$

где соответствующие σ -алгебра \mathfrak{B}_f и вероятностная мера P_f определяются соотношениями:

$$\mathfrak{B}_f = \{B | B = f(A), A \in \mathfrak{A}\}; \quad P_f(B) = P\{A | B = f(A)\}, B \in \mathfrak{B}_f. \quad (15)$$

Важнейшей характеристикой случайного элемента является его *математическое ожидание* (обобщение понятия среднего). Если отображение (13) интегрируемо по Лебегу, то математическим ожиданием случайного возмущения из класса (14) называется элемент

$$M\eta(\cdot) = m_\eta(\cdot) = \int_{\Omega} f(\omega)P(d\omega). \quad (16)$$

Далее, уточняя строение класса допустимых возмущений (11), «погрузим» его в гильбертово пространство $L^2(\Delta)$ всех вещественных функций, определенных и суммируемых с квадратом на отрезке Δ . Предположим, что в $L^2(\Delta)$ задана некоторая конечная мера μ , тогда при определенных математических условиях [12] существует такой неотрицательный вещественный функционал $w_v(\cdot) : V_\Delta \rightarrow [0, 1]$, что

$$\forall (B \in \mathfrak{B}_f) P_f(B) = \text{Вер}(\eta(\cdot) \in B) = \int_B w_v(y)\mu(dy). \quad (17)$$

Этот функционал называется *плотностью распределения вероятностей* в вероятностном пространстве (12) по мере μ . В данном случае математическое ожидание случайного возмущения (13) может быть представлено в виде

$$M\eta(\cdot) = m_\eta(\cdot) = \int_{V_\Delta} y w_v(y)\mu(dy). \quad (18)$$

Таким образом, при указанных предположениях полное вероятностное описание *класса допустимых случайных возмущений (допустимых возмущений)* может быть задано следующим набором множеств и отображений:

$$\{V_{\Delta}, \mathfrak{B}_f, P_f, \mu, w_v(\cdot)\}. \quad (19)$$

Отметим, что в некоторых прикладных задачах случайные возмущения могут быть представлены более простой математической структурой. Так, например, рассмотрим **дискретный вариант вероятностного пространства** (12), в котором $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k\}$ – конечное множество элементарных событий, \mathfrak{A} – булеан (множество всех подмножеств) множества Ω , а $P(A), A \in \mathfrak{A}$, – атомическая вероятностная мера: $P(\omega_i) = p_i, i=1, 2, \dots, k; \sum_{i=1}^k p_i = 1; P(\bigcup_i \omega_i) = \sum_i p_i$. При этом соответствующий выражению (13) класс допустимых возмущений состоит из конечного набора распределений коэффициента прозрачности по трассе полета, т.е. имеет следующий вид:

$$V_{\Delta d} = \{y_{\Delta i} = y_i(\cdot) : \Delta \rightarrow R^1 | (\forall \rho \in \Delta)(0 \leq y_i \leq 1), i=1, \dots, k; S_y\} \quad (20)$$

и представляет собой полную конечную группу попарно несовместных событий. Математическое ожидание соответствующего случайного возмущения здесь определится формулой

$$M\eta(\cdot) = m_{\eta}(\cdot) = \sum_{i=1}^k p_i y_i(\cdot). \quad (21)$$

3. Математическая модель бортового ресурса. Будем предполагать, что на борту космического аппарата имеется один расходуемый ресурс (запас носителя информации, энергии или т. п.), характеризуемый уравнением

$$\dot{q} = -\alpha u \quad (22)$$

при начальном условии $q(t_0) = q_0 > 0$. В данном уравнении q – величина ресурса, u – управление взаимодействием, α – положительная константа, характеризующая скорость расхода ресурса. На конечное состояние ресурса наложим следующее естественное условие:

$$q(t_f) = q_f \geq 0, \quad (23)$$

которое является краевым условием на правом конце траектории состояния ресурса.

4. Показатель качества процесса управления информационным взаимодействием. Показатель качества рассматриваемых процессов управления информационным взаимодействием зададим в виде **терминального функционала** (функционала Майера)

$$J(u_{\sigma}) = h(x(t_f)), \quad (24)$$

в котором $h(\cdot)$ – заданное отображение $X(\Delta) \rightarrow R^1$, характеризующее финальное информационное состояние.

ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ В УСЛОВИЯХ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

1. Общая постановка задачи и пути ее решения. При рассмотрении задач управления в детерминированных условиях требуется найти такое допустимое управляющее воздействие, которое доставляет указанному выше показателю качества (24) наименьшее (или наибольшее) из всех возможных значений. Если такое управляющее воздействие существует, то оно называется **оптимальным управлением**. Примеры решения соответствующих задач приведены в работах [3, 11, 12].

Однако в условиях случайных возмущений подобная постановка задачи выбора управляющего воздействия теряет смысл, поскольку терминальное состояние

$$x(t_f) = x(t_f, \omega) = \gamma_s(\cdot, t_f, \omega) \quad (25)$$

является случайным элементом в $L^2(\Delta)$, а соответствующее значение функционала (24) при любом допустимом управлении оказывается величиной случайной. Оптимальное управление в каждом конкретном случае, возможно, существует, но не может быть найдено, так как соответствующая реализация возмущений принципиально неизвестна. В этом случае результатом выбора того или иного управления является не конкретное значение функционала качества (24), а соответствующее распределение вероятностей для его значений. Поэтому в стохастических условиях речь может идти только о сравнении указанных распределений, которые полностью определяются приведенными выше условиями задачи. Иначе говоря, исходное вероятностное описание возмущений нужно преобразовать в вероятностное описание значений показателя качества (24) и далее выбрать наилучшее из соответствующих допустимых распределений вероятности.

Данный путь – **детерминизация** исходной стохастической задачи – приводит к постановке **детерминированной задачи** минимизации (максимизации) **нового функционала**, задаваемого исследователем на семействе допустимых условиями задачи распределений вероятности для значений исходного функционала (24) и отражающего соответствующее отношение предпочтения. На практике в качестве подобного функционала обычно выбирают либо математическое ожидание (**оптимизация «в среднем»**) или **стохастически-оптимальное управление**), либо вероятность неперевышения (превышения) значением показателя качества некоторого заданного порога (**оптимизация «по вероятности»**). В дальнейшем будем использовать первый из этих подходов и сформулируем соответствующую **общую задачу стохастически-оптимального управления**.

Среди всех допустимых управляющих воздействий найти такое, которое доставляет абсолютный минимум (или максимум) математическому ожиданию функционала (24) при выполнении ограничения на оставшийся ресурс (23):

$$\left. \begin{aligned} J_0(u_\sigma) = Mh(x(t_f, \omega)) &= \int_{\Omega} h(x(t_f, \omega)) P(d\omega) \rightarrow \min(\max)_{u_\sigma \in U_\sigma} \\ x(t_f, \omega) = \gamma_s(\rho, t_f, \omega) &= \eta(\rho, \omega) \int_{t_0}^{t_f} M(\rho, t) u(t) dt, \\ \dot{q} = -\alpha u, \quad q(t_0) = q_0 > 0, \quad q(t_f) = q_f \geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Если такое управляющее воздействие существует, то будем называть его **стохастически-оптимальным** и обозначать через $u_{s\sigma}^* = u_s^*(\cdot)$.

2. Анализ существования решения общей задачи. В общем случае анализ существования решения поставленной выше задачи весьма сложен. В связи с этим уточним характер терминального функционала $h(\cdot)$, а именно – предположим, что он является **ограниченным и выпуклым (вогнутым)** на $L^2(\Delta)$. Отсюда следует, что этот функционал, а значит, и функционал $J_0(u_\sigma)$ слабо полунепрерывны снизу (сверху) на классе допустимых управлений U_σ в топологии соответствующего гильбертова пространства $L^2(\sigma)$ [14, с.107]. Класс допустимых управлений U_σ (7), являясь замкнутым и выпуклым множеством в $L^2(\sigma)$, в соответствующей топологии представляет собой слабый компакт [15, с.113, 288]. Линейные ограничения на допустимые управления, обусловленные ограниченностью расходуемого ресурса, сужают класс допустимых управлений, но свойства выпуклости и замкнутости при этом сохраняются. Отсюда следует, что при указанных выше предположениях, в соответствии с обобщенной теоремой Вейерштрасса [14, с. 115], функционал $J_0(u_\sigma)$ в классе допустимых управлений достигает своей нижней (верхней) грани, и, следовательно, при указанных выше

предположениях относительно функционала (24) решение поставленной задачи (26) *существует* [а если терминальный функционал строго выпукл (вогнут), то и является единственным].

Перейдем теперь к рассмотрению некоторых конкретных вариантов поставленной выше общей задачи.

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ СТОХАСТИЧЕСКИ-ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ КА С ОТРЕЗКОМ ТРАССЫ ПОЛЕТА

Конкретизируем вид терминального показателя качества процесса информационного взаимодействия (24), а именно, в настоящей статье зададим его в виде *линейного функционала* следующего вида:

$$J(u_\sigma) = h(x(t_f)) = \int_{a_0}^{a_f} \xi(\rho) \gamma(\rho, t_f) d\rho, \quad (27)$$

где $\xi(\rho)$ – заданная *ограниченная неотрицательная вещественная* функция, принимающая значения из отрезка $[0, 1]$, заданная на множестве $\Delta = [a_0, a_f]$ и отражающая *относительную ценность информации*, получаемой от подспутниковой точки с координатой ρ . Как уже отмечалось, в условиях случайных возмущений этот функционал является величиной случайной, поэтому соответствующий критерий стохастической оптимальности зададим в виде

$$J_0(u_\sigma) = MJ(u_\sigma) \rightarrow \max_{u_\sigma \in U_\sigma}. \quad (28)$$

Сформулируем соответствующую задачу стохастически-оптимального управления.

1. Задача A – общая задача стохастически-оптимального управления, линейный функционал. Приведем соответствующий вариант общей задачи (26):

$$\left. \begin{aligned} J_0(u_\sigma) = Mh(x(t_f, \omega)) &= \int_{\Omega} \int_{a_0}^{a_f} \xi(\rho) \gamma_s(\rho, t_f, \omega) d\rho P(d\omega) \rightarrow \max_{u_\sigma \in U_\sigma}, \\ \gamma_s(\rho, t_f, \omega) &= \eta(\rho, \omega) \int_{t_0}^{t_f} M(\rho, t) u(t) dt, \\ \dot{q} &= -\alpha u, \quad q(t_0) = q_0 > 0, \quad q(t_f) = q_f \geq 0. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

После соответствующих подстановок и преобразований вследствие линейности задачи, с учетом коммутативности операций нахождения математического ожидания и интегрирования, получим задачу (29), которая может быть сведена к следующей детерминированной вариационной задаче, называемой в дальнейшем *базовой* и обозначаемой через A_0 .

2. Задача A_0 – базовая задача оптимального управления.

$$\left. \begin{aligned} J_0(u_\sigma) &= \int_{t_0}^{t_f} F(t) u(t) dt \rightarrow \max_{u_\sigma \in U_\sigma}, \\ \dot{q} &= -\alpha u, \quad q(t_0) = q_0 > 0, \quad q(t_f) = q_f \geq 0, \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

где $F(t)$ – заданная на σ **неотрицательная ограниченная вещественная кусочно-непрерывная функция**, которая применительно к сформулированной выше задаче A определяется выражением

$$F(t) = F_A(t) = \int_{a_0}^{a_f} \xi(\rho) m_\eta(\rho) M(\rho, t) d\rho. \quad (31)$$

Решим задачу A_0 . Отметим, что она относится к классу так называемых **ляпуновских задач** [16, с. 308] и может быть решена с помощью принципа Лагранжа. Рассмотрим соответствующий функционал Лагранжа

$$\begin{aligned} L(u_\sigma, \lambda) &= \int_{t_0}^{t_f} F(t) u(t) dt + \lambda \left[q_0 - \alpha \int_{t_0}^{t_f} u(t) dt \right] = \\ &= \int_{t_0}^{t_f} [F(t) - \lambda \alpha] u(t) dt + \lambda q_0 \rightarrow \max_{u_\sigma \in U_\sigma}, \end{aligned} \quad (32)$$

где $\lambda \geq 0$ – неопределенный множитель. Очевидно, что максимум функционала Лагранжа достигается на допустимом управлении

$$u'(t, \lambda) = c \chi_- [F(t) - \lambda \alpha], \quad (33)$$

где $\chi_-(\cdot)$ – функция Хэвисайда, определяемая выражением

$$\chi_-(z) = \begin{cases} 1 & \text{при } z > 0, \\ 0 & \text{при } z \leq 0. \end{cases} \quad (34)$$

При этом неопределенный множитель Лагранжа – число $\lambda = \lambda_0$ – имеет следующие характеристики:

а) определяется как неотрицательный корень нелинейного алгебраического уравнения

$$q(\lambda) = \alpha c \int_{t_0}^{t_f} u'(t, \lambda) dt = \alpha c \int_{t_0}^{t_f} \chi_- [F(t) - \lambda \alpha] dt = q_0, \quad (35)$$

если

$$q_0 < q_0^* = \alpha c (t_f - t_0), \quad (36)$$

где q_0^* – расход ресурса без учета его ограниченности (при постоянно включенном приборе);

б) равно 0 в противном случае (т.е. при $q_0 > q_0^*$).

В итоге искомое оптимальное управление в задаче A_0 может быть представлено в следующем виде:

$$u^*(t) = u'(t, \lambda_0) = c \chi_- [F(t) - \lambda_0 \alpha]. \quad (37)$$

Дополнительно предположим, что в данной задаче выполняется следующее условие:

$$(\forall \beta > 0) \text{mes} \{t | F(t) - \beta = 0\} = 0, \quad (38)$$

которое будем называть **условием регулярности**.

При выполнении условия регулярности оптимальное управление в базовой задаче является **единственным** (определяется формулой (37) однозначно на σ). Отметим, что рассмотренной задаче оптимальное управление информационным взаимодействием носит **релейный** характер – бортовой прибор взаимодействия при ограниченном ресурсе включается с максимальной интенсивностью только на тех участках трассы, для которых функция ценности получаемой информации превышает некоторое пороговое значение, определяемое величиной имеющегося бортового ресурса.

Таким образом, базовая задача A_0 решена полностью. При подстановке выражения (30) получается решение поставленной выше задачи A . Рассмотрим некоторые другие варианты этой общей задачи.

3. Задача В – симметричная диаграмма направленности информационного взаимодействия. Будем предполагать, что диаграмма направленности информационного взаимодействия симметрична относительно подспутниковой точки, тогда функцию $M(\rho, \tau)$ в формуле (41) целесообразно представить в виде

$$M(\rho, \tau) = K[\rho - s(\tau)], \quad (39)$$

где $K(\alpha)$ – некоторая *неотрицательная четная интегрируемая функция*, удовлетворяющая условию нормировки

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(\alpha) d\alpha = 1, \quad (40)$$

а $s = s(\tau)$ – координата подспутниковой точки A' в момент времени $\tau \in \sigma$ в соответствии с введенной выше естественной параметризацией трассы полета.

Например, функцию $K(\alpha)$ можно задать следующим образом:

$$K(\alpha) = 1/2\varepsilon \text{ при } |\alpha| \leq \varepsilon, \quad K(\alpha) = 0 \text{ при } |\alpha| > \varepsilon, \quad (41)$$

где ε – заданная положительная величина.

Соответствующий формуле (39) рассматриваемый вариант общей задачи – задача B сводится к базовой задаче A_0 при

$$F(t) = F_B(t) = \int_{a_0}^{a_f} \xi(\rho) m_n(\rho) K[\rho - s(t)] d\rho. \quad (42)$$

Далее – решение соответствующей задачи A_0 .

4. Задача С – предельная локализация информационного взаимодействия. Рассмотрим вариант задачи для случая, когда в соответствующем уравнении информационного состояния ядро (39) задано соотношениями (40) и (41) при условии $\varepsilon \rightarrow 0$, т. е. представляет собой обобщенную δ -функцию. Назовем этот вариант случаем *предельной локализации*. Подобная модель имеет практическое значение в тех случаях, когда диаграмма направленности взаимодействия имеет вид достаточно узкого луча, ориентированного в подспутниковую точку КА. В этом случае из формулы (43) и свойств δ -функции следует, что задача C сводится к задаче A_0 при

$$F(t) = F_C(t) = \xi(s(t)) m_n(s(t)). \quad (43)$$

Далее – решение соответствующей задачи A_0 .

5. Задача D – стохастически-оптимальное управление информационным взаимодействием КА с дискретным множеством точек трассы полета. В заключение статьи рассмотрим задачу стохастически-оптимального управления информационным взаимодействием КА с заданным дискретным множеством точек A_1, A_2, \dots, A_n на трассе полета, заданных своими естественными координатами $\{\rho_i\}, i = 1, 2, \dots, n$. В работе [11] показано, что информационное состояние в данном случае является *конечномерным* и при отсутствии возмущений характеризуется n -мерным вектором $\vec{z}(t)$, который [в соответствии с общей континуальной моделью (3)] определяется интегральным выражением

$$\vec{z}(t) = \int_{t_0}^t \vec{b}(\tau) u(\tau) d\tau, \quad (44)$$

где $\vec{b}(t)$ – заданная **неотрицательная ограниченная кусочно-непрерывная** n -мерная векторная функция, определенная на интервале времени $\sigma = [t_0, t_f]$ соотношениями:

$$\vec{b}(\tau) = \|b_1(\tau) \dots b_n(\tau)\|^T; \quad b_i(\tau) = M(\rho_i, \tau), \quad i=1, \dots, n. \quad (45)$$

Случайные возмущения в данном случае зададим в виде случайного вектора, характеризующего прозрачность геофизической среды в рассматриваемых точках дискретной среды на трассе полета КА,

$$\vec{\eta} = \|\eta_1 \dots \eta_n\|^T, \quad (46)$$

и соответствующее стохастическое уравнение информационного состояния представим в мультипликативном виде [аналогичном модели (10)]:

$$\vec{z}_s = \vec{\eta} \circ \vec{z}, \quad z_{si} = \eta_i z_i = \eta_i \int_{t_0}^t b_i(\tau) u(\tau) d\tau, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (47)$$

(\circ – символ умножения по Адамару). Уточним множество допустимых значений векторного коэффициента прозрачности среды в рассматриваемых точках трассы, задав его в виде

$$V = \{y_i, \quad i=1, 2, \dots, n \mid 0 \leq y_i \leq 1\}. \quad (48)$$

Терминальный функционал, характеризующий качество соответствующего процесса управления, по аналогии с выражением (26) зададим в виде линейной формы:

$$J_0(u_\sigma) = Mh(\vec{z}_s(t_f, \omega)) = M \sum_{i=1}^n \xi_i z_{is}, \quad (49)$$

где $\xi_i \in [0, 1], i=1, 2, \dots, n$, – заданные **коэффициенты относительной важности** соответствующих объектов на трассе полета.

Сформулируем соответствующую задачу D стохастически-оптимального управления (дискретный вариант задачи A):

$$J_0(u_\sigma) = Mh(\vec{z}_s(t_f, \omega)) = M \left[\sum_{i=1}^n \xi_i \eta_i \int_{t_0}^{t_f} b_i(t) u(t) dt \right] \rightarrow \max_{u_\sigma}, \quad (50)$$

$$\dot{q} = -\alpha u, \quad q(t_0) = q_0 > 0, \quad q(t_f) = q_f \geq 0.$$

Эта задача, как и предыдущие, сводится к ляпуновской задаче A_0 . После очевидных преобразований получим, что в данном случае функция $F(t)$ в формуле (30) имеет следующий вид:

$$F(t) = F_D(t) = \sum_{i=1}^n m_{\eta_i} \xi_i b_i(t), \quad m_{\eta_i} = M \eta_i, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (51)$$

Так как во всех рассматриваемых задачах предполагается, что вероятностное описание случайных возмущений задано, то это означает, что в данном случае известна функция распределения вероятностей для вектора (46), что позволяет по известным формулам теории вероятностей найти входящие в выражение (51) математические ожидания соответствующих коэффициентов прозрачности η_i . Далее – решение соответствующей задачи A_0 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены некоторые задачи стохастически-оптимального управления информационным взаимодействием КА с поверхностью Земли. Сформулирована математическая постановка общей задачи стохастически-оптимального терминального программного управления, и приведены критерии существования соответствующего решения. Решен ряд част-

ных вариантов этой общей задачи. Относительная простота полученных решений связана с линейным характером максимизируемого функционала, что позволило свести эти задачи к ляпуновской вариационной задаче. В случае задачи с терминальным функционалом общего вида для получения соответствующей стохастически-оптимальной программы управления необходимо использовать более сложные математические инструменты, прежде всего принцип максимума Л.С. Понтрягина [17] для дифференциальных уравнений в вероятностном банаховом пространстве [18, 19]. Вместе с тем, по мнению автора, линейный функционал, рассмотренный в настоящей статье, представляется достаточно адекватным практическим представлениям исследователей о качестве рассматриваемых процессов информационного взаимодействия, что позволяет рекомендовать его использование в соответствующих задачах стохастически-оптимального управления в интересах совершенствования существующих космических аппаратов и при разработке перспективных КА, предназначенных для информационного взаимодействия с окружающей физической средой.

Список используемых источников

1. *Калинин В.Н.* Современная космическая кибернетика – методологические основы и направления исследований // *Информация и космос.* – 2007. – № 3. – С. 7–16.
2. *Калинин В.Н.* Космический аппарат как объект системных исследований // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.* – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – Вып. 640. – С. 80–89.
3. *Калинин В.Н.* Теория управления космическим аппаратом: на основе концепции активного подвижного объекта: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 188 с.
4. *Калинин В.Н.* Математическая модель информационного взаимодействия космического аппарата с поверхностью Земли // *Труды СПИИРАН.* – 2014. – Вып. 3(34). – С. 33–56.
5. *Калинин В.Н.* О теории управления активными подвижными объектами // *Известия вузов. Приборостроение.* – 1981. – № 6. – С. 26–31.
6. Концепция создания и применения перспективной АСУ подготовки и пуска ракеты космического назначения «Союз-2»: новые подходы к интеграции, интеллектуализации, управлению / Р.Н. Ахметов, И.Е. Васильев, В.А. Капитонов, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов // *Авиакосмическое приборостроение.* – 2015. – №4. – С.3–54.
7. Комплексная автоматизация мониторинга состояния космических средств на основе интеллектуальных информационных технологий / О.В. Майданович, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов // Приложение к журналу «Информационные технологии». – 2011. – №10. – 32 с.
8. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – Таганрог: Южный федеральный университет, 2015. – №1. – С.162–174.
9. Models and Algorithms for Abilities Evaluation of Active Moving Objects Control System / *Boris Sokolov, Vladimir Kalinin, Sergey Nemykin, Dmitry Ivanov* // *Proceedings of the 30th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2016 (May 31 – June 3, 2016, Regensburg, Germany).* – P.467–473.
10. *Калинин В.Н.* О некоторых задачах оптимального управления информационным взаимодействием космического аппарата с поверхностью Земли // *Труды СПИИРАН.* – 2015. Вып. 4(41). – С. 34–56.
11. *Калинин В.Н.* Оптимальное планирование информационного взаимодействия космического аппарата с дискретной средой на поверхности Земли // *Информация и космос.* – 2015. – № 3. – С. – 150–157.
12. *Ширяев А.Н.* Вероятность. – М.: Наука, 1980. – 576 с.

13. *Вахания Н.Н., Тариеладзе В.И., Чобанян С.А.* Вероятностные распределения в банаховых пространствах. – М.: Наука, 1985. – 368 с.
14. *Вайнберг М.М.* Вариационный метод и метод монотонных операторов. – М.: Наука, 1972. – 416 с.
15. *Канторович Л.В., Акилов Г.П.* Функциональный анализ. – М.: Наука, 1977. – 742 с.
16. *Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В.* Оптимальное управление. – М.: Физматлит, 2007. – 408 с.
17. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе и др. – М.: Наука, 1969. – 391 с.
18. *Егоров Ю.В.* Необходимые условия оптимальности управления в банаховых пространствах // Математический сборник. – 1964. – Т.64, №1. – С. 79–101.
19. Методы оптимизации в стохастических задачах управления / А.М. Батков, О.М. Александров и др. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.

Я.О. Качура;
Д.И. Сапрыкин;
П.А. Фалеев,
кандидат военных наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЕННО-ПОЛИТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВ МЕТОДАМИ АССОЦИАТИВНОГО АНАЛИЗА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В существующих методах ведения современных войн активно используются экономическое давление и информационное противоборство. Средства мониторинга социально-экономических показателей иностранных государств и РФ не учитывают скрытых знаний о закономерностях данных показателей ввиду наличия неопределенности их функционирования. В работе предлагается для выявления скрытых зависимостей между показателями функционирования объектов военной деятельности использовать ассоциативный анализ данных.

Ключевые слова: ассоциативный анализ, ассоциативные правила, интеллектуальный анализ данных, анализ военно-политической обстановки.

ВВЕДЕНИЕ

В Военной доктрине Российской Федерации, утвержденной Президентом РФ 25 декабря 2014 года, в которой определяются основные задачи Российской Федерации по сдерживанию и предотвращению военных конфликтов (п. 21), на первом месте стоит задача оценки и прогнозирования развития военно-политической обстановки на глобальном и региональном уровнях, а также состояния межгосударственных отношений в военно-политической сфере с использованием современных технических средств и информационных технологий [1].

Одним из приложений данной задачи является оснащение органов военного управления программно-аппаратными комплексами анализа военно-политической обстановки, общественно-политической и социально-экономической ситуации в стране, реализующими методы искусственного интеллекта в области мониторинга открытых электронных источников информации в режиме реального времени [2].

Ключевую роль в функционировании названных выше аппаратно-программных средств играют системы поддержки и принятия решений (СППР), основанные на оперативном анализе данных (OLAP) и интеллектуальном анализе данных (Data Mining) [3]. Реализованные в комплексах технологии позволяют осуществлять анализ текущей информации о состоянии и функционировании объектов военно-политической и социально-экономической деятельности, затрагивающей интересы Российской Федерации и формирующей угрозы ее безопасности.

В огромных архивах данных, накопленных за десятки лет, скрыты знания, не выявленные наукой, в виде зависимостей одних показателей от других. Такие зависимости можно представить в многомерном признаковом пространстве, в котором каждому измерению соответствует характеристика функционирования объектов военно-политической и социально-экономической деятельности. Задача выявления зависимостей в признаковом пространстве размерностью в несколько тысяч или десятков тысяч измерений, наполненном фактами за десятки лет, представляет собой в настоящее время сложную научно-техническую задачу.

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ЦЕЛЯХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В настоящее время средства интеллектуального анализа информации военно-политического и социально-экономического характера осуществляют сбор, обработку информации из открытых источников разных типов, анализ сложившихся тенденций в политической и экономической сферах вокруг Российской Федерации и внутри страны, мониторинг общественных настроений и реакций на различные события, прогнозирование развития ситуаций, а также предлагают возможные варианты решений. Обобщенная схема принятия решений с применением средств интеллектуального анализа информации представлена на рис. 1.

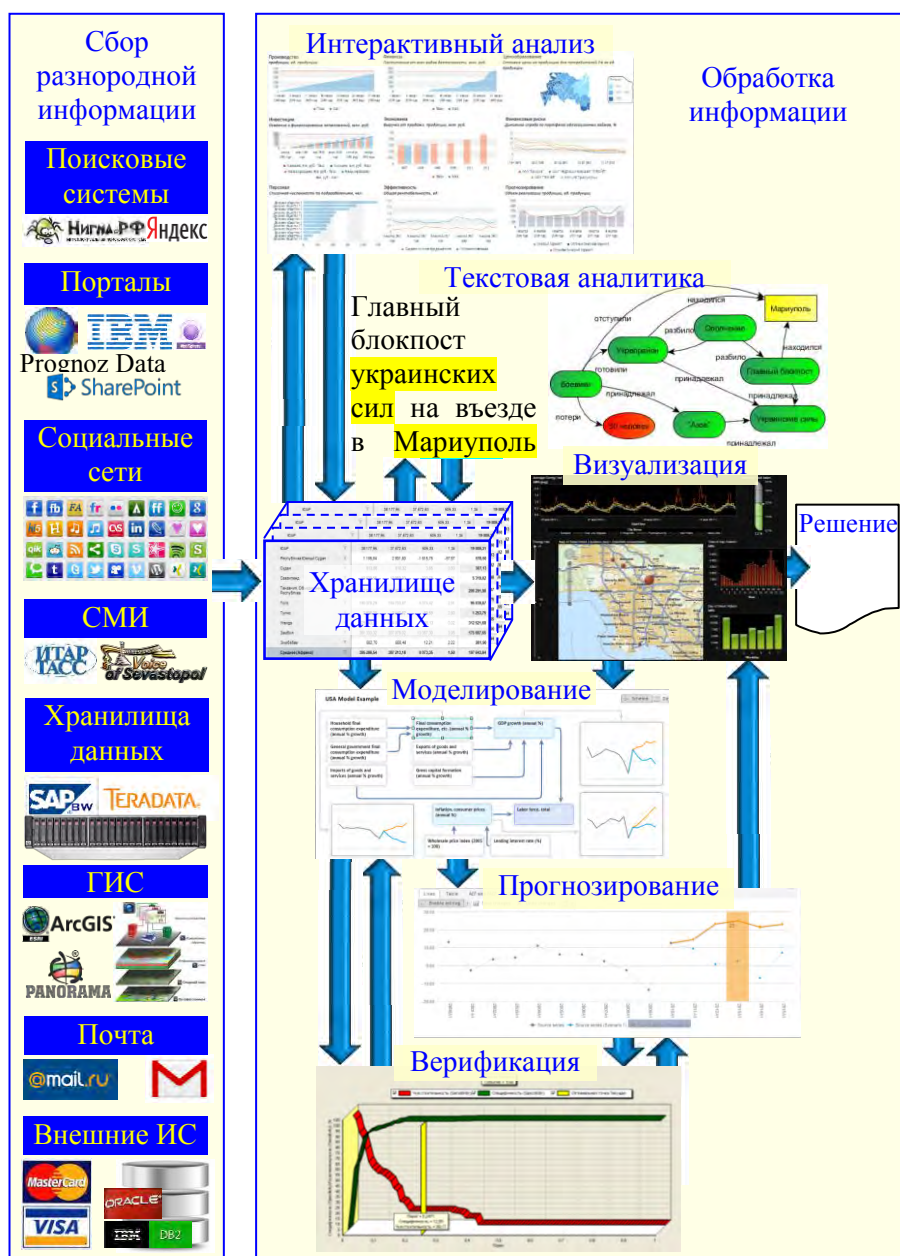


Рис. 1. Обобщенная схема принятия решений с применением средств интеллектуального анализа

Функциями средств интеллектуального анализа информации военно-политического и социально-экономического характера являются:

- автоматический сбор информации из открытых электронных источников;
- логический и семантический поиск информации в сети Интернет;
- оперативная обработка и интеллектуальный анализ текстовой информации на шести иностранных языках;
- анализ мультимедиаинформации;
- моделирование и визуализация сценариев развития обстановки, их экспертная оценка;
- представление должностным лицам Минобороны России информации о наиболее значимых событиях в стране и за рубежом;
- подготовка предложений руководству в автоматизированном режиме.

Данные функции средств интеллектуального анализа информации военно-политического и социально-экономического характера реализуются с помощью следующих информационных технологий:

- извлечения данных и знаний из глобальной сети Интернет (Web Mining);
- извлечения данных и знаний из социальных сетей (Social Mining);
- извлечения знаний из текстовой информации (Text Mining);
- текстовой аналитики (Text Analytics);
- контент-анализа сообщений;
- машинного перевода текстовой информации с одного естественного языка на другой;
- распознавания образов людей и объектов в видеоинформации;
- графического отбора информации;
- автоматической обработки речевой информации;
- моделирования функционирования объектов военной деятельности;
- классификации информации;
- визуализации данных и визуального анализа данных (Visual Analysis);
- прогнозирования развития ситуации;
- автоматического формирования отчетных информационных документов.

Вариант схемы функционирования интегрированного программного обеспечения можно представить в виде связанных трех уровней подсистем СППР (рис. 2):

- верхнего уровня, содержащего выводы из оценки обстановки, варианты принятия решений должностными лицами Министерства обороны РФ;
- среднего уровня, содержащего средства прогнозирования развития ситуации, детализированную информацию об изменяющейся обстановке;
- нижнего уровня, обобщающего информацию в виде статистических данных, обеспечивающего доступ к информации.

Вместе с тем в информационно-аналитических органах сосредоточены массивы числовой, статистической, текстовой, графической, фотографической, картографической, визуальной, аудиальной и другой информации как формализованной, так и слабоструктурированной, отражающей показатели функционирования объектов военно-политической и социально-экономической деятельности. К их числу можно отнести расходы государств на оборону в процентах от ВВП; численность вооруженных сил иностранных государств, вооружения и военной техники; их оперативно-тактические и тактико-технические характеристики; характеристики оперативного оборудования территории; особенности физико-географических условий регионов; наличие энергетической, транспортной инфраструктуры; значимые события в военно-политической, социально-экономической и других сферах, например: «прибытие директора ЦРУ», «возникновение вооруженного конфликта» (рис. 3).



Рис. 2. Вариант схемы функционирования СПДР

МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ И ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

В многомерной модели данных состояния объектов военно-политической деятельности значимые события рассматриваются в признаковом пространстве (рис. 4). Измерения состояются из последовательностей значений данных показателей. На пересечении соответствующих значений измерений располагаются факты, совокупность которых описывает анализируемую область.

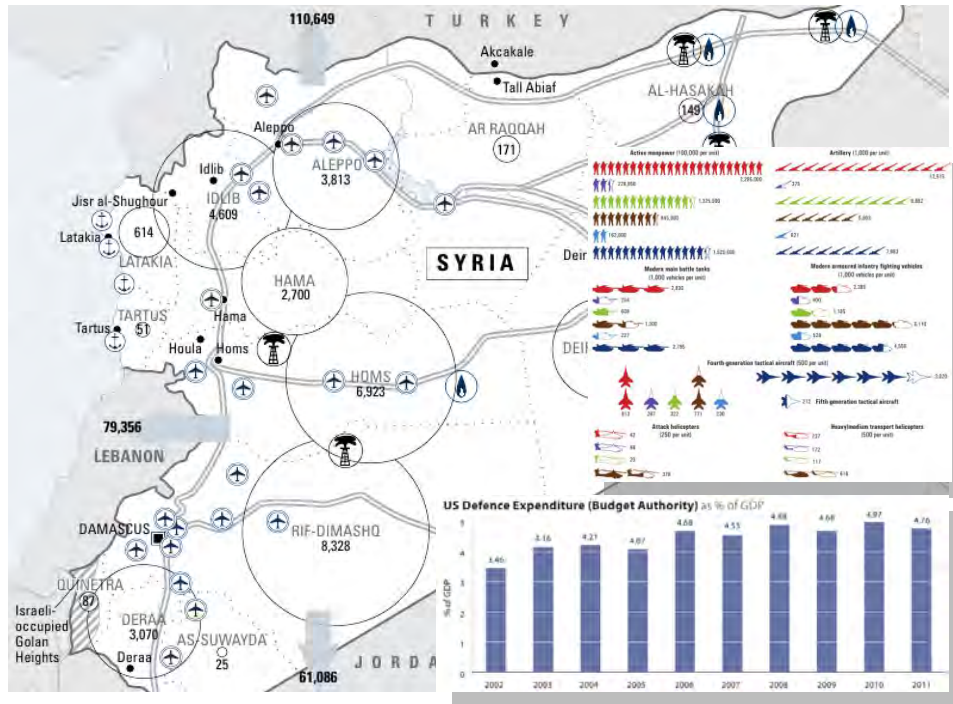


Рис. 3. Некоторые показатели функционирования объектов военно-политической и социально-экономической деятельности

| | | + Год | | | Страна | | | | | | | |
|-----------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | 2000 | | | 2001 | | | 2002 | | | | |
| + Область | Показатели | Великобрит | Германия | США | Итого: | Великобрит | Германия | США | Итого: | Великобрит | Германия | США |
| ВВС | Боевые вертолеты | 34,98 | 13,78 | 484,42 | 533,18 | 35,64 | 14,04 | 493,56 | 543,24 | 47,52 | 18,72 | 658,26 |
| | Вертолеты | 191,86 | 212,53 | 3 186,36 | 3 590,75 | 195,48 | 216,54 | 3 246,48 | 3 658,50 | 260,64 | 288,72 | 4 320,00 |
| | Всего самолетов | 481,24 | 376,30 | 7 251,99 | 8 109,53 | 490,32 | 383,40 | 7 388,82 | 8 262,54 | 653,76 | 511,20 | 9 850,00 |
| | Истребители | 44,52 | 100,70 | 1 203,63 | 1 348,85 | 45,36 | 102,60 | 1 226,34 | 1 374,30 | 60,48 | 136,80 | 1 630,00 |
| | Самолеты-штурмовики | 94,34 | 39,22 | 1 378,53 | 1 512,09 | 96,12 | 39,96 | 1 404,54 | 1 540,62 | 128,16 | 53,28 | 1 870,00 |
| | Транспортные самолеты | 179,14 | 229,49 | 2 767,66 | 3 176,29 | 182,52 | 233,82 | 2 819,88 | 3 236,22 | 243,36 | 311,76 | 3 750,00 |
| | Итого: | 1 026,08 | 972,02 | 16 272,59 | 18 270,69 | 1 045,44 | 990,36 | 16 579,62 | 18 615,42 | 1 393,92 | 1 320,48 | 22 100,00 |
| ВМФ | Авианосцы | 0,53 | 0,00 | 5,30 | 5,83 | 0,54 | 0,00 | 5,40 | 5,94 | 0,72 | 0,00 | 6,66 |
| | Всего военных судов | 34,98 | 43,46 | 250,69 | 329,13 | 35,64 | 44,28 | 255,42 | 335,34 | 47,52 | 59,04 | 340,00 |
| | Корабли береговой охраны | 12,72 | 4,24 | 6,89 | 23,85 | 12,96 | 4,32 | 7,02 | 24,30 | 17,28 | 5,76 | 29,00 |
| | Корветы | 0,00 | 2,65 | 0,00 | 2,65 | 0,00 | 2,70 | 0,00 | 2,70 | 0,00 | 3,60 | 0,00 |
| | Подводные лодки | 5,83 | 2,12 | 38,16 | 46,11 | 5,94 | 2,16 | 38,88 | 46,98 | 7,92 | 2,88 | 50,00 |
| | Сторожевые корабли | 3,18 | 0,00 | 32,86 | 36,04 | 3,24 | 0,00 | 33,48 | 36,72 | 4,32 | 0,00 | 40,00 |
| | Тральщики | 7,95 | 7,95 | 6,89 | 22,79 | 8,10 | 8,10 | 7,02 | 23,22 | 10,80 | 10,80 | 9,00 |
| Фрегаты | 6,89 | 6,36 | 7,95 | 21,20 | 7,02 | 6,48 | 8,10 | 21,60 | 9,36 | 8,64 | 10,00 | |
| | Итого: | 72,08 | 66,78 | 348,74 | 487,60 | 73,44 | 68,04 | 355,32 | 496,80 | 97,92 | 90,72 | 470,00 |
| География | Береговая линия | 12 429,00 | 2 389,00 | 19 924,00 | 34 742,00 | 12 429,00 | 2 389,00 | 19 924,00 | 34 742,00 | 12 429,00 | 2 389,00 | 19 924,00 |
| | Водные пути | 3 200,00 | 7 467,00 | 41 009,00 | 51 676,00 | 3 200,00 | 7 467,00 | 41 009,00 | 51 676,00 | 3 200,00 | 7 467,00 | 41 009,00 |
| | Сухолупная граница | 360,00 | 3 790,00 | 12 034,00 | 16 184,00 | 360,00 | 3 790,00 | 12 034,00 | 16 184,00 | 360,00 | 3 790,00 | 12 034,00 |
| | Итого: | 15 989,00 | 13 646,00 | 72 967,00 | 102 602,00 | 15 989,00 | 13 646,00 | 72 967,00 | 102 602,00 | 15 989,00 | 13 646,00 | 72 967,00 |

Рис. 4. Фрагмент многомерной модели показателей военной силы государств

Факты определяют как числовые значения характеристик от нескольких показателей объекта или процесса предметной области. В качестве вида числовой характеристики факта могут выступать количество, сумма, среднее значение, максимальное значение и др.

При этом агрегированная информация (информация по совокупности значений измерения) занимает место одного из значений измерения. В качестве вариантов агрегации можно определять суммарные, минимальные, средние и другие значения различных показателей предметной области. Вид агрегации задается при проектировании хранилищ данных и определяется задачами оперативной аналитической обработки данных. При загрузке данных в хранилище автоматически вычисляются агрегированные значения заданных показателей, что

позволяет пользоваться ими многократно, не вычисляя каждый раз заново. За счет этого достигается оперативность оперативного анализа данных.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

В реальных хранилищах данных размещается информация по тысячам показателей, отражающая в числовом виде историю военной деятельности иностранных государств, их социально-экономическую и другие сферы. Человек, каким бы хорошим экспертом он не был, физически не в состоянии при принятии решения учесть не только петабайты накопленной информации, но и представить признаковое пространство, имеющее более трех измерений, тем более выявить в них закономерности военной деятельности.

Установить зависимости между военно-политическими, социально-экономическими и другими показателями функционирования объектов военной деятельности можно с помощью интеллектуального анализа данных, в частности метода поиска ассоциативных правил.

Ассоциативные правила – правила для количественного описания зависимостей между событиями вида

$$X \Rightarrow Y,$$

где X – совокупность событий, называемых условием ассоциативного правила;

Y – совокупность событий, называемых следствием ассоциативного правила.

Введем еще одно дополнительное понятие – понятие транзакции. *Транзакция* – множество событий, происшедших совместно.

Следовательно, выявление зависимостей между военно-политическими, социально-экономическими и другими событиями сводится к определению цепочек ассоциативных правил $X \Rightarrow Y$, $Y \Rightarrow Z$, ... между событиями, происшедшими одновременно за контрольный период времени. Если в транзакции встретился набор событий X , то на основе выявленной зависимости можно предположить, что в этой же транзакции должен появиться другой набор событий Y . Однако не все импликации образуют ассоциативные правила, а лишь те, которые удовлетворяют установленным пороговым значениям показателей ассоциативных правил. Показателями ассоциативных правил являются: поддержка ассоциативного правила, достоверность ассоциативного правила, лифт, левередж [4].

Поддержкой $S(X \Rightarrow Y)$ ассоциативного правила $X \Rightarrow Y$ называется отношение количества транзакций $N_{X \cup Y}$, содержащих условие X и следствие Y , к общему количеству транзакций N :

$$S(X \Rightarrow Y) = \frac{N_{X \cup Y}}{N}.$$

Правило $X \Rightarrow Y$ имеет поддержку S , если доля транзакций, содержащих X и Y , от общего количества транзакций составляет $S \cdot 100\%$. Если транзакции упорядочены во времени, то поддержка ассоциативного правила показывает частоту появления транзакции, которая содержит условие X и следствие Y .

Например, в 10 наборах событий, описывающих кризисные периоды государств, в 6 наборах вместе встречаются события «приезд директора ЦРУ» и «возникновение вооруженного конфликта». В этом случае поддержка ассоциативного правила «Если «приезд директора ЦРУ», то «возникновение вооруженного конфликта» равна 0,6:

$$S(\text{"приезд директора ЦРУ"} \Rightarrow \text{"возникновение вооруженного конфликта"}) = \frac{6}{10} = 0,6.$$

Одного показателя – поддержки ассоциативных правил – оказывается недостаточно для выявления скрытых зависимостей между событиями. В некоторых случаях события происходят достаточно часто, вследствие чего оказываются в большом количестве транзакций. При этом в значительной доле транзакций они оказываются вместе, хотя зависимости между

данными событиями не существует. Поэтому для повышения точности выявления скрытых зависимостей между событиями на основе ассоциативных правил воспользуемся другим показателем – достоверностью ассоциативного правила.

Достоверностью $C(X \Rightarrow Y)$ *ассоциативного правила* $X \Rightarrow Y$ называется мера точности правила, определяемая как отношение количества транзакций $N_{X \cup Y}$, содержащих условие X и заключение Y , к количеству транзакций N_X , содержащих только условие:

$$C(X \Rightarrow Y) = \frac{N_{X \cup Y}}{N_X}.$$

Достоверность ассоциативного правила следует не путать с достоверностью информации. Правило $X \Rightarrow Y$ справедливо с достоверностью C , если доля транзакций, содержащих X и Y , от количества транзакций, содержащих только условие X , составляет $C \cdot 100\%$. Другими словами, достоверность правила показывает долю наборов событий, в которых всякий раз, когда встречается условие X , присутствует и следствие Y .

Например, если из 10 наборов событий, описывающих кризисный период государства, в 6 наборах событий встречается событие «приезд директора ЦРУ» и во всяком наборе событий, содержащем событие «приезд директора ЦРУ», встречается событие «возникновение вооруженного конфликта», то достоверность ассоциативного правила «Если «приезд директора ЦРУ», то «возникновение вооруженного конфликта» равна 1:

$$C(\text{"приезд директора ЦРУ"} \Rightarrow \text{"возникновение вооруженного конфликта"}) = \frac{6}{6} = 1.$$

Это значит, что в 100% транзакций, включающих событие «приезд директора ЦРУ», содержится событие «возникновение вооруженного конфликта».

Если поддержка и достоверность ассоциативного правила достаточно высоки, то можно предположить, что следующая транзакция, включающая условие, будет также содержать и следствие. Минимальные пороговые значения поддержки и достоверности ассоциативного правила устанавливаются аналитиком исходя из предметной области. В предметной области, в которой интересующие события происходят чаще, пороговые значения должны быть выше.

Если минимальные значения поддержки и достоверности невысоки, то количество выявленных ассоциативных правил может исчисляться десятками и сотнями тысяч. Такие объемы физически трудно просмотреть аналитику. К тому же некоторые наиболее часто встречающиеся или очевидные зависимости эксперту хорошо известны. Для него они будут являться не скрытыми зависимостями, а лишь информационным шумом. Поэтому, в целях ограничения количества выявленных ассоциативных правил, поддержка и достоверность ограничиваются сверху максимальными значениями. Таким образом, минимальные и максимальные значения поддержки и достоверности ассоциативных правил образуют границы окна, ограничивающего поток выявляемых ассоциативных правил (рис. 5).

Площадь окна выбирается исходя из временных ресурсов и физических возможностей эксперта обработать полученный массив ассоциативных правил. Окно ограничений может сдвигаться на плоскости «поддержка-достоверность». Слишком низкие значения минимальных порогов поддержки и достоверности могут привести к отбору статистически не обоснованных ассоциативных правил. С другой стороны, смещение окна к низким значениям позволяет выявить нетривиальные правила и исключения.

Если в информационной задаче рассматривается жестко регламентированная военная деятельность, то в этом случае следует выявлять правила с наибольшими значениями поддержки и достоверности. Для ограничения объема выявленных правил пороговые значения поддержки могут незначительно уменьшаться (прямоугольник 1 на рис. 5).

Если объекты военной деятельности функционируют в соответствии с указаниями должностных лиц, принимающих нестандартные решения, которые следует отнести, скорее, к ис-

ключениям из правил, то окно ограничений может значительно смещаться к низким значениям (прямоугольник 2 на рис. 5).

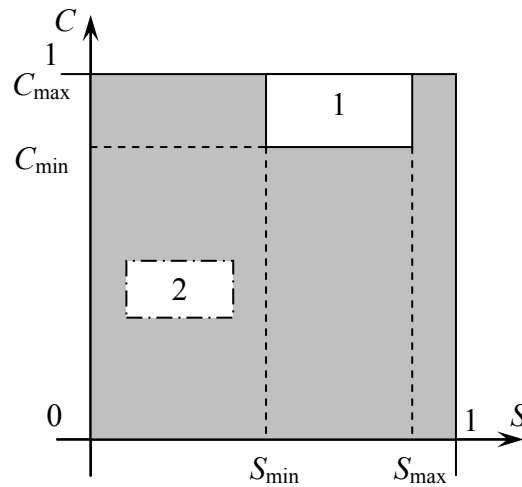


Рис. 5. Ограничения поддержки и достоверности ассоциативных правил

Следующие два показателя ассоциативных правил – лифт и левередж – зависят от контекста событий. Они позволяют из множества выявленных ассоциативных правил выбрать ограниченное количество наиболее значимых правил.

Лифт $L(X \Rightarrow Y)$ ассоциативного правила $X \Rightarrow Y$ – это мера значимости ассоциативного правила, определяемая как отношение достоверности ассоциативного правила $C(X \Rightarrow Y)$ к доле транзакций, содержащих только следствие N_Y / N :

$$L(X \Rightarrow Y) = \frac{C(X \Rightarrow Y)}{N_Y / N} = \frac{N_{X \cup Y} \cdot N}{N_X \cdot N_Y}.$$

Левередж $T(X \Rightarrow Y)$ ассоциативного правила $X \Rightarrow Y$ – это мера значимости ассоциативного правила, определяемая как разность между частотой совместного проявления наборов событий X и Y и произведением частот появления условия X и следствия Y по отдельности:

$$T(X \Rightarrow Y) = \frac{N_{X \cup Y}}{N} - \frac{N_X}{N} \cdot \frac{N_Y}{N} = S(X \Rightarrow Y) - \frac{N_X}{N} \cdot \frac{N_Y}{N}.$$

Если условие X и следствие Y ассоциативного правила независимы, то поддержка правила $S(X \Rightarrow Y)$ примерно соответствует произведению долей транзакций, в которых встречаются условие и следствие отдельно:

$$S(X \Rightarrow Y) \approx \frac{N_X}{N} \cdot \frac{N_Y}{N},$$

так как

$$S(X \Rightarrow Y) = \frac{N_{X \cup Y}}{N}.$$

Такое соотношение показывает, что, несмотря на высокую частоту совместного наступления событий $N_{X \cup Y} / N$, зависимость между событиями отсутствует ввиду того, что события наступают часто независимо друг от друга (большие значения N_X / N и N_Y / N).

ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Данное программное приложение разработано на основе аналитической платформы *Deductor Studio 5.3* [4]. При реализации приложения было установлено ограничение на категорию грифа исходных данных. В рассматриваемом приложении могут обрабатываться только данные с грифом «несекретно». В связи с этим применение программного приложения ограничили областью показателей социально-экономического развития стран большой семерки и России. Значения показателей были получены из открытых официальных источников (таких как Федеральная служба государственной статистики).

С помощью данного приложения установили, во-первых, какие показатели изменяются совместно, и, во-вторых, как изменение одного показателя отразится на остальных показателях. Будем считать, что показатели социально-экономического развития стран большой семерки и России изменяются совместно, если они достаточно часто входят в одну группу изменяющихся показателей, т.е. транзакцию.

Работа программного приложения выявления скрытых зависимостей начинается с импорта текстового файла исходных данных. Далее определяется перечень показателей, существенно изменяющихся за каждый год. В качестве порога, определяющего существенность изменения показателя, выбрано относительное изменение показателя за год, превышающее 5%. Каждый такой перечень показателей определяет транзакционный набор данных. После этого все транзакционные наборы данных объединяются в один набор, к которому применяется алгоритм определения частых наборов показателей. Завершается работа приложения выводом дерева ассоциативных правил и визуализатора «что-если» на соответствующих вкладках. Рассмотрим их подробнее.

На вкладке «Дерево правил» (рис. 6) предлагается способ отображения множества ассоциативных правил, которое строится либо по условию, либо по следствию. При построении дерева правил по условию на первом (верхнем) уровне находятся узлы с условиями, а на втором уровне – узлы со следствием. В дереве, построенном по следствию, наоборот, – на первом уровне располагаются узлы со следствием. Справа от дерева находится список правил, построенный по выбранному узлу дерева.

| Условие | Поддержка | | Достоверность, % |
|---|-----------|-------|------------------|
| | Кол-во | % | |
| Импорт всего, млн долл | 12 | 70,60 | 85,70 |
| Объем импорта России, млрд. долларов США | 12 | 70,60 | 100,00 |
| Объем импорта Японии, млрд. долларов США | 11 | 64,70 | 100,00 |
| Объем экспорта Германии, млрд. долларов США | 11 | 64,70 | 91,70 |
| Объем экспорта России, млрд. долларов США | 11 | 64,70 | 100,00 |
| Объем экспорта Франции, млрд. долларов США | 11 | 64,70 | 100,00 |
| Объем экспорта Японии, млрд. долларов США | 11 | 64,70 | 100,00 |
| Продукция сельского хозяйства, млн. руб. (до 1998 г. - млрд. р... | 11 | 64,70 | 84,60 |
| Размер ВВП по ППС России, млрд. долларов США | 13 | 76,50 | 92,90 |
| Размер номинального ВВП Канады, млрд. долларов США | 11 | 64,70 | 100,00 |
| Темпы роста объема промышленного производства Германии,... | 11 | 64,70 | 91,70 |
| Темпы роста объема промышленного производства России, % | 11 | 64,70 | 91,70 |
| Экспорт всего, млн долл | 12 | 70,60 | 85,70 |

Рис. 6. Дерево ассоциативных правил

Для каждого правила отображаются поддержка, достоверность и лифт. Если дерево построено по условию, то вверху списка отображается условие правила, а список состоит из его следствий. Тогда правила отвечают на вопрос: «Что будет при значимом изменении показателей, входящих в условия ассоциативных правил?» Если же дерево построено по следствию, то вверху списка отображается следствие правила, а список состоит из его условий.

Эти правила отвечают на вопрос: «Какие показатели необходимо значимо изменить, чтобы существенно изменился показатель в следствии?»

Программное приложение выявления скрытых зависимостей между показателями военной деятельности иностранных государств и РФ следует использовать для управления данными показателями по следующей методике.

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ВОЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

На *первом этапе* определяются требуемые показатели военной деятельности иностранных государств и РФ, состояние которых необходимо изменить. Они определяются в качестве следствий ассоциативных правил с помощью визуализатора «Дерево ассоциативных правил».

На *втором этапе* с помощью отобранных ассоциативных правил для выбранных показателей определяются условия, от которых они зависят.

На *третьем этапе* оцениваются показатели, выбранные в качестве условий ассоциативных правил на предмет возможности их изменения посредством управления теми процессами, которые они описывают. Если этого достичь не удастся, то условия ассоциативных правил полагаются в качестве следствий, для которых снова определяются условия в соответствии с первым и вторым этапами методики.

На *четвертом этапе*, после выбора в качестве условий ассоциативных правил набор изменившихся на данный момент показателей с помощью визуализатора «что-если» можно определить другие показатели военной деятельности иностранных государств и РФ, являющиеся следствием ассоциативного правила, которые могут измениться вследствие изменения его условия.

Данная методика может применяться как для косвенного управления показателями военной деятельности иностранных государств и РФ в целях повышения эффективности функционирования ВС РФ, так и для ассиметричного реагирования на факты военной деятельности иностранных государств в целях противодействия военным мероприятиям иностранных государств, создающим угрозу безопасности Российской Федерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлены программное приложение выявления скрытых зависимостей между показателями функционирования объектов военной деятельности и методика управления показателями военной деятельности.

Программное приложение основано на реализации метода ассоциативного анализа данных. С помощью указанного метода выявляются такие закономерности функционирования объектов военной деятельности, которые не были вскрыты научными методами или экспертными оценками, но проявлялись исторически в процессе функционирования объектов военной деятельности. Решение задачи предлагается рассматривать в многомерном признаковом пространстве (в несколько тысяч измерений), что не по силам экспертам, но возможно реализовать с помощью интеллектуального анализа данных.

Предлагаемая методика управления показателями военной деятельности может быть использована для управления состояниями объектов военной деятельности как Российской Федерации, так и «партнеров».

Список используемых источников

1. Военная доктрина Российской Федерации // Красная звезда. – 2015. – №2. – С. 2.
2. Компьютеры помогут понять реальность // Красная звезда. – 2015. – №14. – С. 4.
3. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, И.И. Холод и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
4. Deductor. Руководство аналитика. Версия 5.3. – Рязань: Компания BaseGroup Labs, 2013. – 219 с. – URL: https://basegroup.ru/system/files/documentation/guide_analyst_5.3.0.pdf (дата обращения 20.03.2018).

И.М. Кобзарев;
Е.В. Копкин,
доктор техн. наук

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ДИСКРЕТНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Предлагается алгоритм построения гибкой программы анализа технического состояния объекта по критерию максимума эффективности получаемой информации при использовании дискретных диагностических признаков. Эффективность информации вычисляется как отношение ее ценности к количеству. Приводится числовой пример реализации алгоритма.

Ключевые слова: анализ технического состояния, ценность информации, эффективность информации, диагностический признак.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время процессы проектирования и эксплуатации автоматизированных систем мониторинга состояния сложных технических объектов характеризуются рядом особенностей [1]. К основным из них относятся:

- большие (сверхбольшие) потоки обрабатываемой информации;
- возрастание сложности объектов управления;
- увеличение количества объектов управления;
- большое разнообразие типов измерительной информации, используемой для принятия решений;
- неопределенность и нечеткость задач при проведении мониторинга состояния сложных технических объектов.

Неотъемлемой составной частью таких автоматизированных систем являются программные комплексы, реализующие информационную технологию мониторинга состояния.

Мониторинг состояния предполагает получение в явном виде обобщенных оценок выполнения программы функционирования рассматриваемого объекта управления либо определение степени его работоспособности, места и вида возникшей неисправности, а также вычисление оценок прогнозируемых процессов с заданной точностью, с учетом конкретных целей и условий эксплуатации на различных этапах функционирования объекта.

Мониторинг проводится при интеграции всех имеющихся видов измерительной информации и решает следующие задачи:

- анализ технического состояния (ТС) объекта управления, выполняющийся при его нахождении как в штатных, так и в нештатных ситуациях;
- контроль работоспособности объекта управления и, при возникновении неисправности, ее диагностирование с указанием места и вида возникшей неисправности;
- прогнозирование поведения объекта управления и предсказание развития как штатных, так и нештатных (аварийных) ситуаций с целью их предупреждения и недопущения.

При решении указанных задач процесс анализа ТС объекта управления рассматривается как управляемый с помощью проверок диагностических признаков динамический процесс стохастического типа с заданным правилом останова. Процедура, задающая состав диагностических признаков и последовательность их проверки для распознавания каждого из возможных ТС объекта управления, называется гибкой программой анализа (ГПА).

Путем целенаправленного выбора проверок процесс анализа ТС можно гибко изменять, придавая ему желаемые свойства, в том числе и оптимальные по различным показателям.

В частности, в работе [2] В. И. Корогодиным предложен показатель E эффективности информации в виде отношения ценности информации V к ее количеству I , т.е.

$$E = V/I. \quad (1)$$

Количество информации определяется по известной формуле Шеннона [3], а ее ценность вычисляется как отношение

$$V = \frac{P-p}{1-p}, \quad (2)$$

где P и p представляют собой вероятности достижения цели управления при использовании получаемой информации и без ее использования соответственно. При этом значение ценности информации изменяется в диапазоне от 0 до 1.

Следует отметить, что ценность информации можно определять различными способами. Одним из первых, кто ввел понятие ценности (полезности) информации, был академик А. А. Харкевич [4]. Он предложил определять ценность получаемой информации через двойной логарифм отношения вероятностей достижения цели управления после и до получения информации. В этом случае ценность информации изменяется в диапазоне от $-\infty$ до $+\infty$. Она равна нулю, если полученная информация не изменяет вероятность достижения цели, т.е. является пустой, принимает отрицательное значение, если полученная информация уменьшает вероятность достижения цели, т.е. является дезинформацией, и наконец, оценивается положительной величиной, если полученная информация увеличивает вероятность достижения цели, т.е. является ценной.

Г. П. Шанкин в своей монографии [5], опираясь на труды М. М. Бонгарда [6] и Р. Л. Стратоновича [7], предложил аксиоматическое определение понятия «ценность информации» и разработал ряд математических моделей, позволяющих вычислять ценность информации, необходимой пользователю для достижения некоторой цели.

В статье [8] предложен алгоритм построения ГПА ТС объекта по критерию максимума эффективности информации при использовании диагностических признаков (ДП), представленных в непрерывной форме, т.е. в виде интервалов на вещественной числовой оси. Между тем, при анализе ТС достаточно часто используются дискретные ДП (в бинарной или целочисленной формах представления). Поэтому разработка алгоритма выбора дискретных диагностических признаков по критерию максимума эффективности получаемой информации является актуальной и практически важной задачей.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для решения задачи воспользуемся математической моделью, описанной в статье [9], в соответствии с которой считаются заданными следующие упорядоченные множества:

$$M_o = \langle \mathcal{S}, \Pi, \mathfrak{S}, P, \Phi \rangle; \quad (3)$$

$$M_n = \langle \mathcal{S}, \Omega, \mathcal{P}, \hat{\Pi} \rangle. \quad (4)$$

Первое из этих множеств является моделью объекта анализа, а второе – моделью процесса определения технического состояния объекта, т.е. процесса анализа. В состав этих моделей входят:

$\mathcal{S} = \{S_i \mid i = \overline{1, m}\}$ – множество ТС, в одном из которых находится анализируемый объект;

$\hat{\Pi} = \{\hat{\pi}_j \mid j = \overline{1, n}\}$ – множество проверок, взаимно однозначно соответствующее множеству $\Pi = \{\pi_j \mid j = \overline{1, n}\}$ ДП, на котором все ТС $S_i \in \mathcal{S}$ попарно различимы, т.е. $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ есть проверка соответствующего признака $\pi_j \in \Pi$;

$\mathfrak{S} = \{\sigma_{ij} \mid i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}\}$ – множество модельных значений ДП, каждый из которых означает наиболее вероятный исход проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ТС $S_i \in \mathcal{S}$;

$P = \left\{ P(S_i) \mid \sum_{i=1}^m P(S_i) = 1 \right\}$ – множество вероятностей ТС $S_i \in \mathcal{S}$;

$\Phi: \mathcal{S} \times \Pi \rightarrow \mathfrak{S}$ – отображение, при котором $\sigma_{ij} = \Phi(S_i, \hat{\pi}_j)$, $S_i \in \mathcal{S}$, $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$. Обычно такое отображение задается в виде таблицы состояний, строками которой являются ТС $S_i = [\sigma_{i1}, \sigma_{i2}, \dots, \sigma_{in}]^T \in \mathcal{S}$ ($i = \overline{1, m}$), а столбцами – проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, ($j = \overline{1, n}$).

$\Omega = \{R \mid R \subseteq \mathcal{S}\}$ – алгебра подмножеств множества \mathcal{S} , в которой элементы R имеют смысл информационных состояний (ИС) моделируемого процесса, а каждый из них представляет собой подмножество «подозреваемых» ТС, в одном из которых может находиться объект в момент анализа его состояния;

$\mathcal{P} = \left\{ P(R) \mid P(R) = \sum_{S_i \in R} P(S_i), R \in \Omega \right\}$ – вероятностная мера, заданная на множестве Ω . Вероятности $P(R) \in \mathcal{P}$ ИС $R \in \Omega$ как элементов алгебры случайных событий определяются вероятностями входящих в них «подозреваемых» ТС.

В рамках вероятностно-динамической модели (4) реализуется последовательная процедура анализа ТС. Основными ее элементами являются ИС $R \in \Omega$, каждое из которых имеет свою вероятностную меру $P(R)$. Под действием проверок $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ производится последовательный переход от одного ИС к другому, пока не будет определено ТС, в котором находится объект.

Различают начальное ИС $R = \mathcal{S}$, промежуточные ИС $R \subset \mathcal{S}$ и конечные ИС $R = \{S_i\}$, $i = \overline{1, m}$. Каждое из конечных ИС содержит единственное «подозреваемое» ТС S_i , которое воспринимается как опознанное i -е ТС объекта. В дальнейшем конечные ИС будем обозначать $R_i = \{S_i\}$, а все остальные (неконечные) – $R_k \subseteq \mathcal{S}$ ($k = m+1, m+2, \dots$).

Каждая проверка $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ имеет некоторое (конечное) число исходов. Общее число исходов проверки $\hat{\pi}_j$ в ИС R_k обозначим через ω_{kj} , а порядковый номер исхода – через $v = \overline{1, \omega_{kj}}$. В простейшем случае проверка имеет два исхода – «норма» - «не норма», которым соответствуют модельные признаки, обозначаемые σ_{ij}^1 и σ_{ij}^0 .

Отдельная проверка $\hat{\pi}_j$ переводит процесс анализа из некоторого ИС $R_k \subseteq \mathcal{S}$ в одно из состояний $R_{kj}^v \subset R_k$, состоящих из меньшего числа элементов, реализуя отображение

$$\hat{\pi}_j : R_k \rightarrow R_{kj}^v \quad (v = \overline{1, \omega_{kj}}), \quad (5)$$

где $R_{kj}^v \subset R_k$ – новое ИС, получаемое в результате v -го исхода проверки ($v = \overline{1, \omega_{kj}}$), причем

$$\bigcup_{v=1, \omega_{kj}} R_{kj}^v = R_k.$$

Для достижения конечного ИС R_i в общем случае требуется несколько раз выполнить отображение (5), используя при этом проверки различных признаков $\pi_j \in \Pi$, которые выбираются при построении ГПА. В совокупности эти признаки составляют подмножества $\Pi_i \subseteq \Pi$, проверка которых необходима для определения i -го ТС объекта. С учетом этого процесс перехода из любого ИС $R_k \subseteq \mathcal{S}$ в конечное ИС $R_i = \{S_i\} \in R_k$ формально можно описать в виде композиции (произведения) отображений (5), реализуемых одной проверкой $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}_i$.

Так как первая проверка признака $\pi_j \in \Pi_i$ применяется в начальном ИС $R_k = \mathcal{S}$, а последняя приводит к получению конечного ИС $R_i = \{S_i\}$, то указанную композицию можем записать как отображение

$$\prod_{\pi_j \in \Pi_i} \hat{\pi}_j : \mathcal{S} \rightarrow R_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

Процессом анализа ТС можно управлять, целенаправленно выбирая в каждом неконечном ИС $R_k \subseteq \mathcal{S}$ для проверки признак π_j , который принадлежит множеству Π_k допустимых признаков, определяемому из условия

$$\pi_j \in \Pi_k, \text{ если } (\exists S_i, S_f \in R_k) : (\sigma_{ij} \neq \sigma_{ff}). \quad (6)$$

Вероятность $P_k(\hat{\pi}_j^v)$ перехода из ИС R_k в ИС R_{kj}^v при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}_k$ определяется по формуле

$$P(R_{kj}^v / R_k) = P_k(\hat{\pi}_j^v) = \frac{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_k} P(S_i)}, \quad v = \overline{1, \omega_{kj}}. \quad (7)$$

Сущность синтезируемого алгоритма заключается в том, что в начальном ИС $R_k = \mathcal{S}$ и в каждом из последующих состояний $R_k \subset \mathcal{S}$ выбирается для проверки такой признак $\pi_j \in \Pi$, которому соответствует максимальное значение показателя E эффективности получаемой информации.

Составляемую ГПА будем представлять в виде ориентированного графа G , вершинами которого являются ИС процесса анализа, а дугами – исходы проверок признаков в этих состояниях. Граф G состоит из ветвей $G_i (i = \overline{1, m})$, каждая из которых приводит к распознаванию конкретного ТС S_i , имеет одну начальную и m конечных (по числу возможных ТС объекта) вершин.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Проведем модификацию показателя эффективности информации (1), предложенного В.И. Корогодиным в работе [2], для его использования в предметной области анализа ТС объекта управления.

Обозначим через $E_k(\hat{\pi}_j)$ показатель эффективности информации, получаемой при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ИС R_k , и будем определять его из отношения

$$E_k(\hat{\pi}_j) = \frac{V_k(\hat{\pi}_j)}{I_k(\hat{\pi}_j)}, \quad (8)$$

где $V_k(\hat{\pi}_j)$ – ценность информации, а $I_k(\hat{\pi}_j)$ – ее количество.

Для вычисления значения $V_k(\hat{\pi}_j)$ показателя ценности информации воспользуемся результатами работы [9].

Целью функционирования ГПА является распознавание конкретного ТС $S_i \in \mathcal{S}$, в котором находится анализируемый объект. Следовательно, в качестве вероятности p в формуле (2) можно использовать вероятность $P(S_i)$.

Рассмотрим теперь ИС $R_{kj}^v \subset R_k$, полученное в результате проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, выполненной в ИС R_k . Это ИС включает в свой состав в общем случае несколько предполагаемых ТС $S_i \in \mathcal{S}$, в одном из которых может находиться объект анализа. Для распознавания этих состояний необходима дополнительная информация, которая тоже обладает некоторой ценностью. Такая информация может быть получена в результате выполнения последующих проверок.

Тогда в качестве вероятности P в формуле (2) можно использовать уточненную вероятность P_i ТС $S_i \in R_{kj}^v$, определяемую по формуле

$$P_i = \frac{P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)}. \quad (9)$$

Обозначим через $V_{kj}^v(S_i)$ ценность информации, которую необходимо получить для распознавания конкретного ТС $S_i \in R_{kj}^v$ и будем определять ее по формуле

$$V_{kj}^v(S_i) = \frac{P_i - P(S_i)}{1 - P(S_i)}. \quad (10)$$

Отметим, что если ИС R_{kj}^v состоит только из одного ТС $S_i \in \mathcal{S}$, то в соответствии с (9) вероятность P_i становится равной единице. Это логично, поскольку при распознавании конкретного ТС цель процесса анализа считается достигнутой.

Поскольку ИС $R_{kj}^v \subset R_k$ в общем случае состоит из нескольких ТС $S_i \in \mathcal{S}$, то ценность информации, которая необходима для распознавания всех ТС $S_i \in R_{kj}^v$, определяется по формуле

$$V_{kj}^v = \sum_{S_i \in R_{kj}^v} P_i \cdot V_{kj}^v(S_i). \quad (11)$$

Для вычисления ценности информации $V_k(\hat{\pi}_j)$, получаемой при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ИС R_k , необходимо усреднить результаты, полученные при вычислениях по формуле (11), по вероятностям реализации исходов этой проверки, используя формулу

$$V_k(\hat{\pi}_j) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k(\hat{\pi}_j^v) \cdot V_{kj}^v. \quad (12)$$

Количество информации, получаемой при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ИС R_k , определяется по формуле Шеннона

$$I_k(\hat{\pi}_j) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k(\hat{\pi}_j^v) \left[-\log_2 P_k(\hat{\pi}_j^v) \right]. \quad (13)$$

Следует также отметить, что для ИС R_k , состоящих только из двух ТС $S_i \in \mathcal{S}$, любая из допустимых проверок будет приносить информацию, обладающую максимальной ценностью, равной единице, поскольку в результате ее выполнения происходит гарантированное распознавание ТС, в котором находится объект, т.е. цель анализа достигается. Выбор наилучшей проверки в таком случае осуществляется по другим критериям (максимальная достоверность, минимальная стоимость и т.д.).

В работе [2] отмечено, что к ценности информации принцип аддитивности не применим. В связи с этим формулу (8) можно использовать только для определения эффективности информации, получаемой в процессе функционирования ГПА, реализуемой последовательным методом, т.е. «прямым ходом», начиная от ИС $R_k = \mathcal{S}$ и заканчивая конечными состояниями $R_i = \{S_i\} (i = \overline{1, m})$. На каждом шаге функционирования ГПА выбирается наилучший для проверки признак согласно условию

$$\pi_s = \arg \max_{\pi_j \in \Pi_k} \{E_k(\hat{\pi}_j)\}, \quad (14)$$

где подмножество Π_k допустимых для проверки признаков определяется согласно (6).

АЛГОРИТМ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Схема предлагаемого алгоритма выбора наиболее эффективных диагностических признаков представлена на рис. 1.

В блоке 2 осуществляется ввод исходных данных, к которым относятся множества $\mathcal{S} = \{S_i | i = \overline{1, m}\}$, $\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, n}\}$, $\mathfrak{S} = \{\sigma_{ij} | i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}\}$ и $P(S_i), i = \overline{1, m}$.

В блоке 3 назначается порядковый номер для исходного ИС.

В блоке 4 устанавливаются текущие значения счетчиков циклов по i, j , а также исходное информационное состояние $R_k \subseteq \mathcal{S}$.

В блоке 5 для исходного ИС R_k из условия (6) выбираются допустимые для проверки признаки.

Блоки 6, 7 и 8 представляют собой цикл по проверкам, выбранным в блоке 5, для которых с помощью процедуры, реализованной в блоке 7, вычисляется показатель $E_k(\hat{\pi}_j)$ эффективности информации, получаемой при выполнении проверки признака π_j в ИС R_k . Схема алгоритма, реализующего данную процедуру, показана на рис. 2.

В блоке 9 осуществляется выбор оптимального для проверки признака по условию (14).

В блоке 10 происходит разбиение ИС R_k на исходы $R_{ks}^v (v = \overline{1, \omega_{ks}})$ путем выполнения проверки $\hat{\pi}_s$, выбранной в блоке 9.

Блоки 11–16 представляют собой цикл анализа исходов R_{ks}^v , полученных в блоке 10.

В блоке 12 определяется количество элементов (ТС S_i), входящих в состав ИС R_{ks}^v .

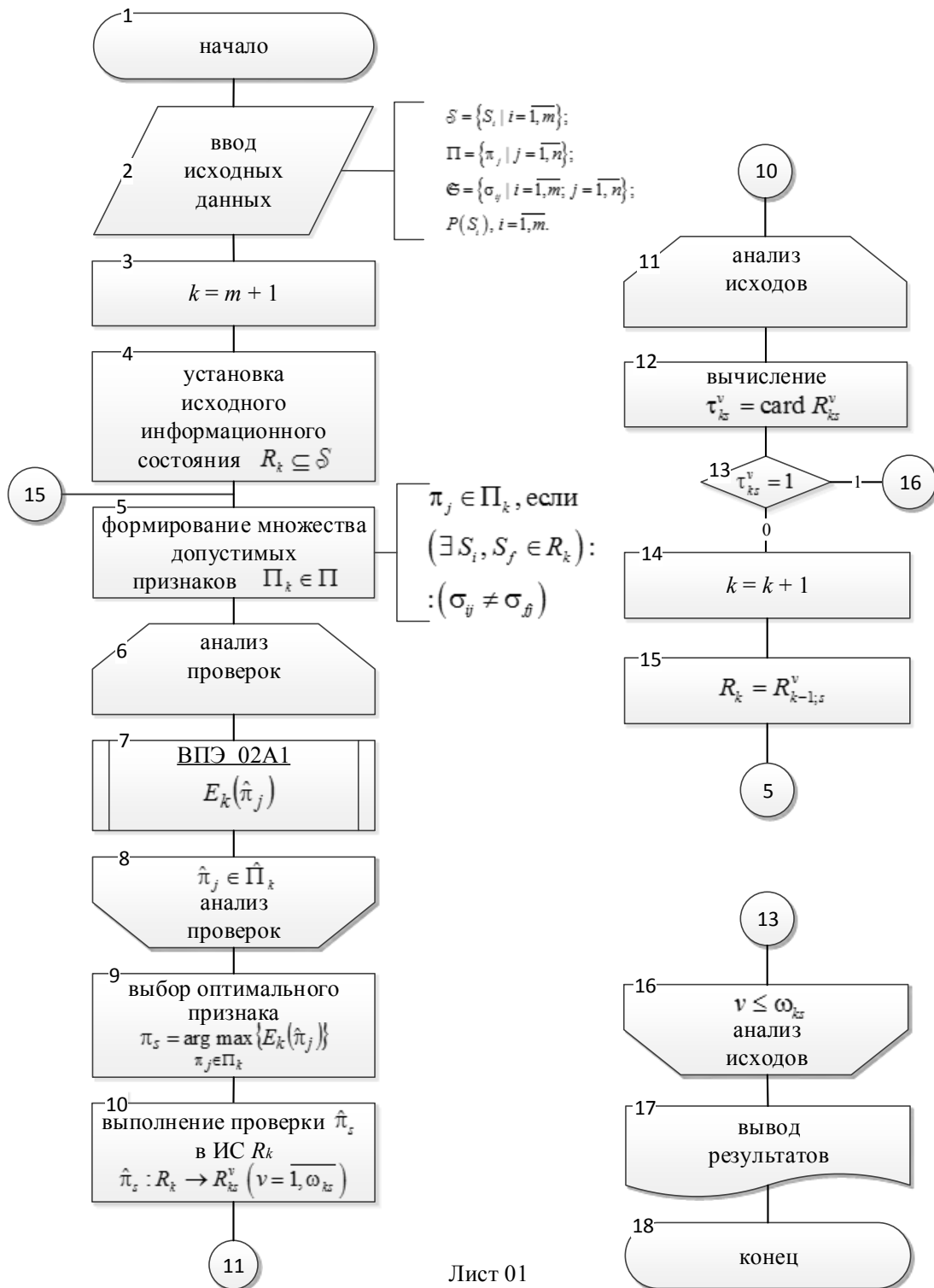
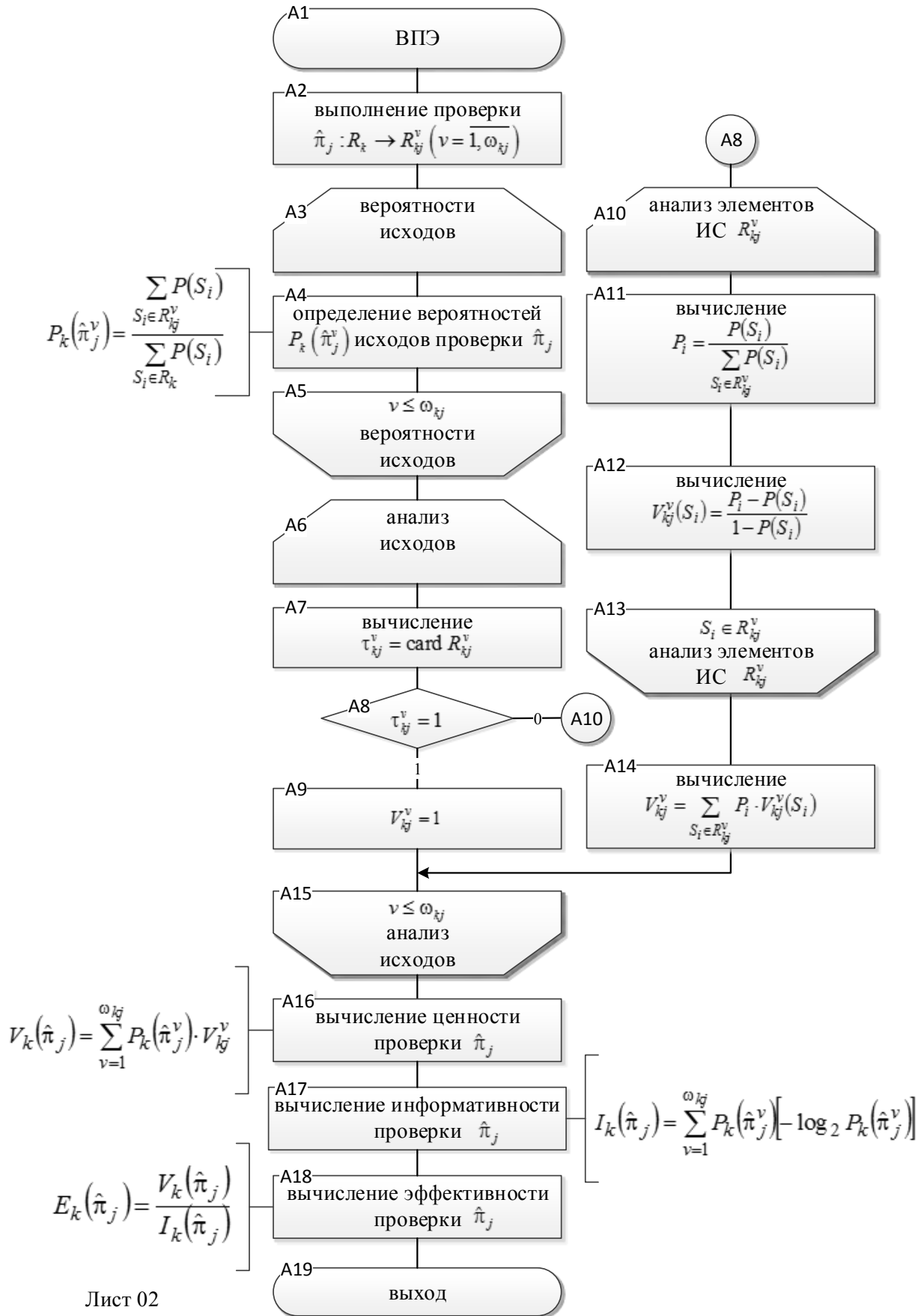


Рис. 1. Схема алгоритма выбора наиболее эффективных ДП

Блок 13 определяет, является ли рассматриваемое ИС конечным. Если – да, то происходит переход к блоку 16 (к анализу ИС R_{k+1}^v), если – нет, то происходит переход к блоку 14, где осуществляется изменение нумерации ИС.

В блоке 15 рассматриваемому ИС присваивается новый номер, и далее осуществляется переход к блоку 5.

В блоке 17 осуществляется вывод результатов и составление ГПА в виде ориентированного графа.



Лист 02

Рис. 2. Схема алгоритма, реализующего процедуру вычисления показателя $E_k(\hat{\pi}_j)$

Блок А1 – начало процедуры вычисления показателя эффективности информации.

В блоке А2 в соответствии с отображением (5) выполняется проверка $\hat{\pi}_j$, выбранная в блоке 6, и фиксируются ее исходы $R_{kj}^v (v = \overline{1, \omega_{kj}})$.

Блоки А3–А5 реализуют цикл вычисления вероятностей $P_k(\hat{\pi}_j^v)$ исходов проверки $\hat{\pi}_j$, полученных в блоке А2. Эти вероятности вычисляются в блоке А4 по формуле (7).

Блоки А6–А15 реализуют цикл анализа исходов $R_{kj}^v (v = \overline{1, \omega_{kj}})$, полученных в блоке А2.

В блоке А7 определяется количество элементов (ТС S_i), входящих в состав ИС R_{kj}^v .

Блок А8 определяет, является ли рассматриваемое ИС конечным. Если – да, то происходит переход к блоку А9, в котором осуществляется присвоение $V_{kj}^v = 1$ и начинается анализ следующего ИС R_{kj}^{v+1} . Если – нет, то происходит переход к блоку А10.

Блоки А10–А13 представляют собой цикл анализа элементов ИС R_{kj}^v , т.е. ТС $S_i \in R_{kj}^v$.

В блоке А11 в соответствии с формулой (9) вычисляются значения вероятностей P_i .

В блоке А12 в соответствии с формулой (10) вычисляются значения $V_{kj}^v(S_i)$.

В блоке А14 по формуле (11) вычисляется значение V_{kj}^v и происходит переход к анализу следующего ИС R_{kj}^{v+1} .

В блоке А16 по формуле (12) вычисляется значение показателя $V_k(\hat{\pi}_j)$ ценности информации, получаемой при выполнении проверки признака π_j в ИС R_k .

В блоке А17 по формуле (13) вычисляется информативность $I_k(\hat{\pi}_j)$ проверки $\hat{\pi}_j$, выполняемой в ИС R_k .

В блоке А18 по формуле (8) вычисляется значение показателя $E_k(\hat{\pi}_j)$ эффективности информации, получаемой при выполнении проверки признака π_j в ИС R_k .

Блок А19 – конец процедуры.

В результате выполнения описанного алгоритма найдем все упорядоченные подмножества признаков $\Pi_i \in \Pi$, задающие состав и очередность их проверки для определения конкретного ТС $S_i \in \mathcal{S}$ объекта. Вместе с тем найдем и все ветви ориентированного графа G , задающие условия перехода от одного проверяемого признака к другому в зависимости от исходов проверки первого. Эти условия позволяют при распознавании ТС привлекать именно то подмножество наиболее эффективных диагностических признаков, которое объективно необходимо для идентификации состояния объекта.

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА

Пусть в виде табл.1 заданы множества $\mathcal{S} = \{S_i | i = \overline{0, 6}\}$ технических состояний, в одном из которых может находиться объект, множество $\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, 6}\}$ диагностических признаков, на котором все ТС попарно различимы, а также вероятности $P(S_i)(i = \overline{0, 6})$ этих ТС.

Требуется построить программу распознавания всех заданных ТС объекта, которая будет наилучшей в смысле выбранного критерия, т.е. на каждом шаге функционирования алгоритма будет выбираться признак, обладающий наибольшей эффективностью.

Таблица 1

Таблица состояний объекта анализа

| ТС S_i | Диагностические признаки π_j | | | | | | $P(S_i)$ |
|----------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | π_1 | π_2 | π_3 | π_4 | π_5 | π_6 | |
| S_0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,619 |
| S_1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,039 |
| S_2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,054 |
| S_3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0,109 |
| S_4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,084 |
| S_5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,026 |
| S_6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,069 |

Сначала определим проверку, обладающую наибольшей эффективностью, для начального ИС $R_{0-6} = \{S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$. В этом состоянии все проверки являются допустимыми.

Так, проверка $\hat{\pi}_1$ в соответствии с отображением (5) имеет следующие исходы:

$$\hat{\pi}_1 : R_{0-6} \rightarrow \begin{cases} R_{0-6;1}^0 = R_1 = \{S_1\}, \text{ если } \sigma_{1;1} = 0; \\ R_{0-6;1}^1 = R_{2-6} = \{S_0, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}, \text{ если } \sigma_{1;1} = 1. \end{cases}$$

Определим по формуле (7) вероятности этих исходов $P_{1-6}(\hat{\pi}_1^v)$, $v = \{0; 1\}$:

$$P_{0-6}(\hat{\pi}_1^0) = \frac{P(S_1)}{\sum_{i=0}^6 P(S_i)} = \frac{0,039}{1} = 0,039;$$

$$P_{0-6}(\hat{\pi}_1^1) = \frac{\sum_{i=0,6 \setminus \{1\}}^6 P(S_i)}{\sum_{i=0}^6 P(S_i)} = \frac{0,619 + 0,054 + 0,109 + 0,084 + 0,026 + 0,069}{1} = 0,961.$$

Поскольку ИС $R_{0-6;1}^0 = R_1 = \{S_1\}$ состоит только из одного элемента, то в соответствии с формулой (9) $P_1 = 1$.

Согласно формуле (10)

$$V_{0-6;1}^0(S_1) = \frac{P_1 - P(S_1)}{1 - P(S_1)} = \frac{1 - 0,039}{1 - 0,039} = 1,$$

а формуле (11)

$$V_{0-6;1}^0 = P_1 \cdot V_{0-6;1}^0(S_1) = 1 \cdot 1 = 1.$$

Определим теперь уточненные вероятности P_i ТС S_i ($i = 0, \overline{2, 6}$), входящих в состав ИС $R_{0-6;1}^1 = R_{0,2-6} = \{S_0, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$, используя формулу (9):

$$P_0 = \frac{P(S_0)}{\sum_{i=0,6 \setminus \{1\}} P(S_i)} = \frac{0,619}{0,961} = 0,644; \quad P_2 = \frac{P(S_2)}{\sum_{i=0,6 \setminus \{1\}} P(S_i)} = \frac{0,054}{0,961} = 0,056;$$

$$P_3 = \frac{P(S_3)}{\sum_{i=0,6 \setminus \{1\}} P(S_i)} = \frac{0,109}{0,961} = 0,113; \quad P_4 = \frac{P(S_4)}{\sum_{i=0,6 \setminus \{1\}} P(S_i)} = \frac{0,084}{0,961} = 0,087;$$

$$P_5 = \frac{P(S_5)}{\sum_{i=0,6 \setminus \{1\}} P(S_i)} = \frac{0,026}{0,961} = 0,027; \quad P_6 = \frac{P(S_6)}{\sum_{i=0,6 \setminus \{1\}} P(S_i)} = \frac{0,069}{0,961} = 0,072.$$

По формуле (10) определим:

$$V_{0-6,1}^1(S_0) = \frac{P_0 - P(S_0)}{1 - P(S_0)} = \frac{0,644 - 0,619}{1 - 0,619} = 0,066;$$

$$V_{0-6,1}^1(S_2) = \frac{P_2 - P(S_2)}{1 - P(S_2)} = \frac{0,056 - 0,054}{1 - 0,054} = 0,002;$$

$$V_{0-6,1}^1(S_3) = \frac{P_3 - P(S_3)}{1 - P(S_3)} = \frac{0,113 - 0,109}{1 - 0,109} = 0,005;$$

$$V_{0-6,1}^1(S_4) = \frac{P_4 - P(S_4)}{1 - P(S_4)} = \frac{0,087 - 0,084}{1 - 0,084} = 0,004;$$

$$V_{0-6,1}^1(S_5) = \frac{P_5 - P(S_5)}{1 - P(S_5)} = \frac{0,027 - 0,026}{1 - 0,026} = 0,001;$$

$$V_{0-6,1}^1(S_6) = \frac{P_6 - P(S_6)}{1 - P(S_6)} = \frac{0,072 - 0,069}{1 - 0,069} = 0,003.$$

Подставим полученные значения в формулу (11) и вычислим

$$V_{0-6,1}^1 = \sum_{S_i \in R_{0-6,1}^1} P_i \cdot V_{0-6,1}^1(S_i) = 0,644 \cdot 0,066 + 0,056 \cdot 0,002 + \\ + 0,113 \cdot 0,005 + 0,087 \cdot 0,004 + 0,027 \cdot 0,001 + 0,072 \cdot 0,003 = 0,044.$$

Теперь можно определить ценность проверки $\hat{\pi}_1$, выполненной в начальном ИС $R_{0-6} = \{S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$, используя формулу (12):

$$V_{0-6}(\hat{\pi}_1) = \sum_{v=0}^1 P_{0-6}(\hat{\pi}_1^v) \cdot V_{0-6,1}^v = 0,039 \cdot 1 + 0,961 \cdot 0,044 = 0,081.$$

Информативность этой проверки определим по формуле (13):

$$I_{0-6}(\hat{\pi}_1) = \sum_{v=0}^1 P_{0-6}(\hat{\pi}_1^v) [-\log_2 P_{0-6}(\hat{\pi}_1^v)] = 0,039 [-\log_2 0,039] + 0,961 [-\log_2 0,961] = 0,238.$$

Теперь вычислим эффективность проверки $\hat{\pi}_1$, выполненной в начальном ИС R_{0-6} , используя формулу (8):

$$E_{0-6}(\hat{\pi}_1) = \frac{V_{0-6}(\hat{\pi}_1)}{I_{0-6}(\hat{\pi}_1)} = \frac{0,081}{0,238} = 0,341.$$

Выполним аналогичные вычисления для проверок $\hat{\pi}_j$ ($j = \overline{2, 6}$) и определим:

$$V_{0-6}(\hat{\pi}_2) = 0,151; \quad I_{0-6}(\hat{\pi}_2) = 0,446; \quad E_{0-6}(\hat{\pi}_2) = 0,339;$$

$$V_{0-6}(\hat{\pi}_3) = 0,263; \quad I_{0-6}(\hat{\pi}_3) = 0,605; \quad E_{0-6}(\hat{\pi}_3) = 0,436;$$

$$V_{0-6}(\hat{\pi}_4) = 0,469; \quad I_{0-6}(\hat{\pi}_4) = 0,863; \quad E_{0-6}(\hat{\pi}_4) = 0,544;$$

$$V_{0-6}(\hat{\pi}_5) = 0,105; \quad I_{0-6}(\hat{\pi}_5) = 0,347; \quad E_{0-6}(\hat{\pi}_5) = 0,302;$$

$$V_{0-6}(\hat{\pi}_6) = 0,207; \quad I_{0-6}(\hat{\pi}_6) = 0,568; \quad E_{0-6}(\hat{\pi}_6) = 0,364.$$

Очевидно, что по условию (14) наиболее эффективным для проверки в начальном ИС $R_{0-6} = \{S_0, \dots, S_6\}$ является признак π_4 .

Аналогичным образом определим наиболее эффективные признаки для каждого из конечных исходов проверки $\hat{\pi}_4$, выполненной в начальном ИС $R_{0-6} = \{S_0, \dots, S_6\}$ в соответствии с отображением (5):

$$\hat{\pi}_4 : R_{0-6} \rightarrow \begin{cases} R_{0-6;4}^0 = R_{1-4} = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}, & \text{если } \sigma_{i4} = 0; \\ R_{0-6;4}^1 = R_{0,5,6} = \{S_0, S_5, S_6\}, & \text{если } \sigma_{i4} = 1. \end{cases}$$

Для ИС $R_{0-6;4}^0 = R_{1-4} = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ допустимые для проверки признаки образуют множество $\Pi_{1-4} = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_5, \pi_6\}$. Из них наиболее эффективными по условию (14) являются π_1, π_5 и π_6 . Проверка любого из этих признаков, например π_6 , дает следующие результаты:

$$\hat{\pi}_6 : R_{1-4} \rightarrow \begin{cases} R_{1-4;6}^0 = R_1 = \{S_1\}, & \text{если } \sigma_{i6} = 0; \\ R_{1-4;6}^1 = R_{2,3,4} = \{S_2, S_3, S_4\}, & \text{если } \sigma_{i6} = 1. \end{cases}$$

ИС $R_{1-4;6}^1 = R_{2,3,4} = \{S_2, S_3, S_4\}$ имеет множество допустимых признаков $\Pi_{2,3,4} = \{\pi_2, \pi_3\}$. Наибольшей эффективностью обладает признак π_2 , проверка которого дает только один конечный исход $R_{3,4} = \{S_3, S_4\}$. Допустимым для проверки в этом ИС является единственный признак π_3 , он же будет и эффективным.

Для ИС $R_{0-6;4}^1 = R_{0,5,6} = \{S_0, S_5, S_6\}$ допустимыми для проверки являются признаки π_5 и π_6 . Из них наиболее эффективным по условию (14) будет π_5 , проверка которого дает следующие исходы:

$$\hat{\pi}_5 : R_{0,5,6} \rightarrow \begin{cases} R_{0,5,6;5}^0 = R_5 = \{S_5\}, & \text{если } \sigma_{5,6} = 0; \\ R_{0,5,6;5}^1 = R_{0,6} = \{S_0, S_6\}, & \text{если } \sigma_{i6} = 1. \end{cases}$$

Для ИС $R_{0,6} = \{S_0, S_6\}$ допустимым для проверки является единственный признак π_6 , он же будет и эффективным.

Таким образом, выбрав для всех возможных ИС наиболее эффективные для проверки признаки, построим ГПА, представленную на рис. 3 в виде ориентированного графа.

Упорядоченные по очередности проверки признаков подмножества Π_i ($i = \overline{0, 6}$), каждое из которых обеспечивает распознавание i -го ТС объекта с максимальной эффективностью, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Наборы признаков, необходимых для распознавания
технического состояния объекта**

| ТС S_i | Наборы признаков Π_i |
|----------|--|
| S_0 | $\Pi_0 = \{\pi_4, \pi_5, \pi_6\}$ |
| S_1 | $\Pi_1 = \{\pi_4, \pi_6\}$ |
| S_2 | $\Pi_2 = \{\pi_4, \pi_6, \pi_2\}$ |
| S_3 | $\Pi_3 = \{\pi_4, \pi_6, \pi_2, \pi_3\}$ |
| S_4 | $\Pi_4 = \{\pi_4, \pi_6, \pi_2, \pi_3\}$ |
| S_5 | $\Pi_5 = \{\pi_4, \pi_5\}$ |
| S_6 | $\Pi_6 = \{\pi_4, \pi_5, \pi_6\}$ |

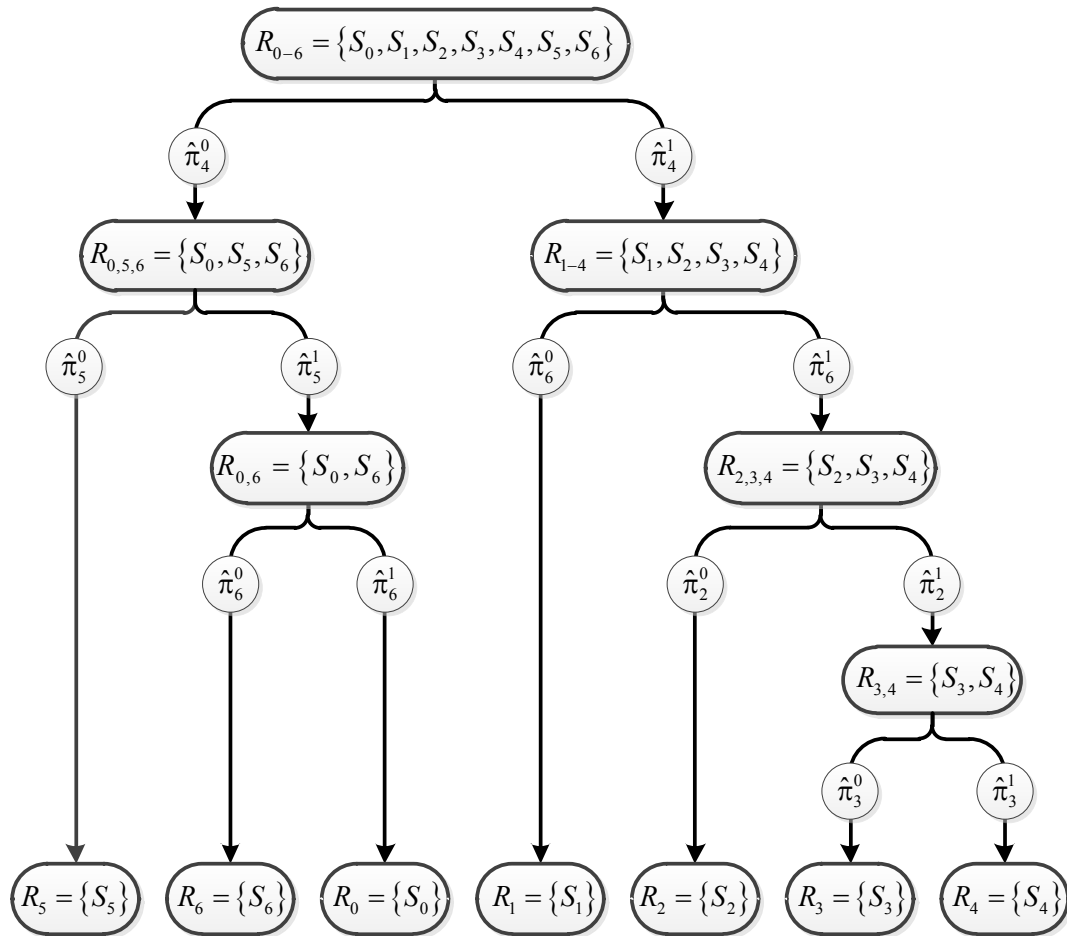


Рис. 3. Гибкая программа анализа технического состояния объекта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм позволяет распознавать все заданные технические состояния объекта, используя при этом наиболее эффективные в смысле выбранного критерия диагностические признаки. Алгоритм может быть применен в составе программно-математического обеспечения автоматизированных систем мониторинга технического состояния сложных объектов как для решения задач контроля правильности их функционирования, так и при поиске дефектов в них с заданной глубиной.

Список используемых источников

1. Теория и практика построения автоматизированных систем мониторинга технического состояния космических средств: монография / О.В. Майданович, В.А. Каргин, В.В. Мышко и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 219 с.
2. Корогодина В.И., Корогодина В.Л. Информация как основа жизни. – Дубна: Издательский центр «Феникс», 2000. – 208 с.
3. Шеннон К. Математическая теория связи // Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во. ин. лит., 1963. – С. 243–496.
4. Харкевич А.А. О ценности информации. Проблемы кибернетики. – М.: Физматгиз, 1960. – Вып. 4. – С. 53–72.

5. *Шанкин Г.П.* Ценность информации. Вопросы теории и приложений. – М.: Филоматис, 2004. – 128 с.

6. *Бонгард М.М.* Проблема узнавания. – М.: Наука, 1967. – 320 с.

7. *Стратонович Р.Л.* Теория информации. – М.: Сов. радио, 1975. – 424 с.

8. *Копкин Е.В., Деев В.В.* Алгоритм построения гибкой программы анализа технического состояния объекта по критерию эффективности информации // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России: научно-аналитический журнал. – 2016. – Вып. 4. – С.101–111. – URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V84/13.pdf> (дата обращения: 20.10.2017).

9. *Копкин Е.В., Кравцов А.Н., Лазутин О.Г.* Выбор дискретных диагностических признаков с учетом их ценности для распознавания технических состояний объекта // Информация и космос. – 2015. – № 2. – С. 111–117.

В.В. Вознюк,
кандидат техн. наук, доцент;
Е.В. Куценко

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С ДВОИЧНЫМИ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫМИ ШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕТРАНСЛИРОВАННЫХ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ПОМЕХ ТИПА ПРЯМОЙ ИНВЕРСИИ СИГНАЛА

В статье представлена математическая модель воздействия ретранслированной компенсационной помехи типа прямой инверсии сигнала на системы радиосвязи с двоичными фазоманипулированными широкополосными сигналами. Исследование помехоустойчивости указанных радиосистем проведено путем оценки средней вероятности ошибки на бит передаваемой информации. На основе полученных результатов осуществлен поиск возможных уязвимостей современных высокопомехоустойчивых систем связи и передачи информации с двоичными фазоманипулированными широкополосными сигналами применительно к помехам ретранслированного типа.

Ключевые слова: ретранслированные помехи, помехоустойчивость, сложные сигналы, компенсационные и прицельные по полосе частот шумовые помехи, средняя вероятность ошибки на бит передаваемой информации.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при разработке и создании средств радиоэлектронного подавления (РЭП) систем радиосвязи (СРС) со сложными сигналами все большее внимание уделяется выбору так называемых энергоэффективных помех, т. е. помех, обеспечивающих равную эффективность воздействия с традиционными шумовыми прицельными по частоте помехами, но при значительно меньших энергетических затратах на их создание и применение. К числу таких энергоэффективных помех вполне могут быть отнесены так называемые ретранслированные помехи, формируемые из исходного сигнала путем применения к нему различного рода модификаций в процессе его ретрансляции в направлении подавляемого радиоэлектронного средства (РЭС). В качестве простейших видов таких модификаций могут рассматриваться прямые инверсии самого сигнала или его огибающей.

Целью исследования является оценка помехоустойчивости СРС с двоичными фазоманипулированными (ФМ) широкополосными шумоподобными сигналами (ШПС) при воздействии ретранслированных компенсационных помех типа прямой инверсии сигнала.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕТРАНСЛИРОВАННОЙ КОМПЕНСАЦИОННОЙ ПОМЕХИ ТИПА ПРЯМОЙ ИНВЕРСИИ СИГНАЛА НА СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ С ДВОИЧНЫМИ ФМ ШПС СИГНАЛАМИ

Представим математическую модель сигнала в виде [1]

$$S(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi(t)).$$

Здесь A – амплитуда сигнала, $A = \sqrt{2P_S}$, где P_S – мощность сигнала;

ω_0 – частота несущего колебания;

$\varphi(t)$ – закон угловой (частотной или фазовой) модуляции сигнала, $\varphi(t) = \pi \cdot d_0(t) \cdot p_0(t)$;

$d_0(t) \in \{0,1\}$; $p_0(t) \in \{0,1\}$, где $d_0(t) \in \{0,1\}$ – передаваемая исходная информационная последовательность, $p_0(t) \in \{0,1\}$ – используемая для расширения спектра сигнала в канале связи псевдослучайная последовательность (ПСП); $t \in [0; T_b]$, где T_b – длительность бита информационного символа $d(t)$.

С учетом бинарного характера изменения фазы такую модель можно переписать в ином виде:

$$S(t) = A \cdot d(t) \cdot p(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1), \quad (1)$$

где $d(t) = 2 \cdot d_0(t) - 1$; $p(t) = 2 \cdot p_0(t) - 1$.

Математическая запись оператора формирования ретранслированной помехи типа прямой инверсии сигнала будет иметь вид [2]

$$\mathcal{J}(t) = \hat{\Theta}(t) - a \cdot A \cdot d(t - \Delta) \cdot p(t - \Delta) \cos(\omega_0(t - \Delta) + \varphi_1), \quad (2)$$

где φ_1 – начальная фаза несущего колебания;

$\hat{\Theta}(t)$ – полосовой гауссовский шум, частотные параметры которого согласованы с аналогичными параметрами подавляемого сигнала и дисперсия которого σ^2 достаточна для достижения желаемого результата противодействия функционированию СРС;

a – масштабирующий амплитудный коэффициент, значение которого выбирается исходя из необходимости достижения желаемого результата противодействия функционированию СРС;

Δ – временная задержка, возникающая в ходе формирования ретранслированной помехи.

Оценим характер и опасность приведенной выше ретранслированной помехи для РЭП одних из наиболее помехоустойчивых к традиционным шумовым помехам каналов связи с двоичными ФМ ШПС.

Для оценки эффективности рассматриваемой помехи при ее воздействии на СРС с двоичными ФМ ШПС применяется общий методический подход, в котором используется средняя вероятность ошибки (СВО) на бит информации [1]. Используя результаты [1], изложим вывод общего выражения для СВО на бит информации для рассматриваемого класса помех и когерентного типа приемных устройств, обеспечивающих обработку двоичных противоположных сигналов, структурная схема которых показана на рис. 1.

Суммарный сигнал на выходе широкополосного фильтра приемника в условиях воздействия помехи $\mathcal{J}(t)$ можно представить в виде

$$S'(t) = \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot p(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + n(t) + \mathcal{J}(t). \quad (3)$$

Здесь $n(t)$ – собственные шумы приемника, которые хорошо аппроксимируются белым гауссовским шумом со средним значением, равным нулю, и автокорреляционной функцией

$R_n(t, s) = E\{n(t)n(s)\} = \frac{N_0}{2} \delta(t - s)$, где N_0 – спектральная плотность мощности шума $n(t)$.

После установления кодовой синхронизации сигнал на выходе демодулятора приемника, в котором осуществляется сжатие сигнала по спектру путем его умножения на опорную псевдослучайную импульсную последовательность $p(t)$, имеет вид

$$S_d(t) = \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + n(t) \cdot p(t) + \mathcal{J}(t) \cdot p(t). \quad (4)$$

После подстановки формулы (2) в (4) имеем

$$\begin{aligned}
 S_d(t) &= \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + n(t) \cdot p(t) + (\hat{\Theta}(t) - a \cdot S(t - \Delta)) \cdot p(t) = \\
 &= \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + n(t) \cdot p(t) + \hat{\Theta}(t) \cdot p(t) - \\
 &\quad - a \cdot \sqrt{2P_S} \cdot d(t - \Delta) \cdot p(t) \cdot p(t - \Delta) \cdot \cos(\omega_0(t - \Delta) + \varphi_1) + n_J(t) \cdot p(t).
 \end{aligned} \quad (5)$$

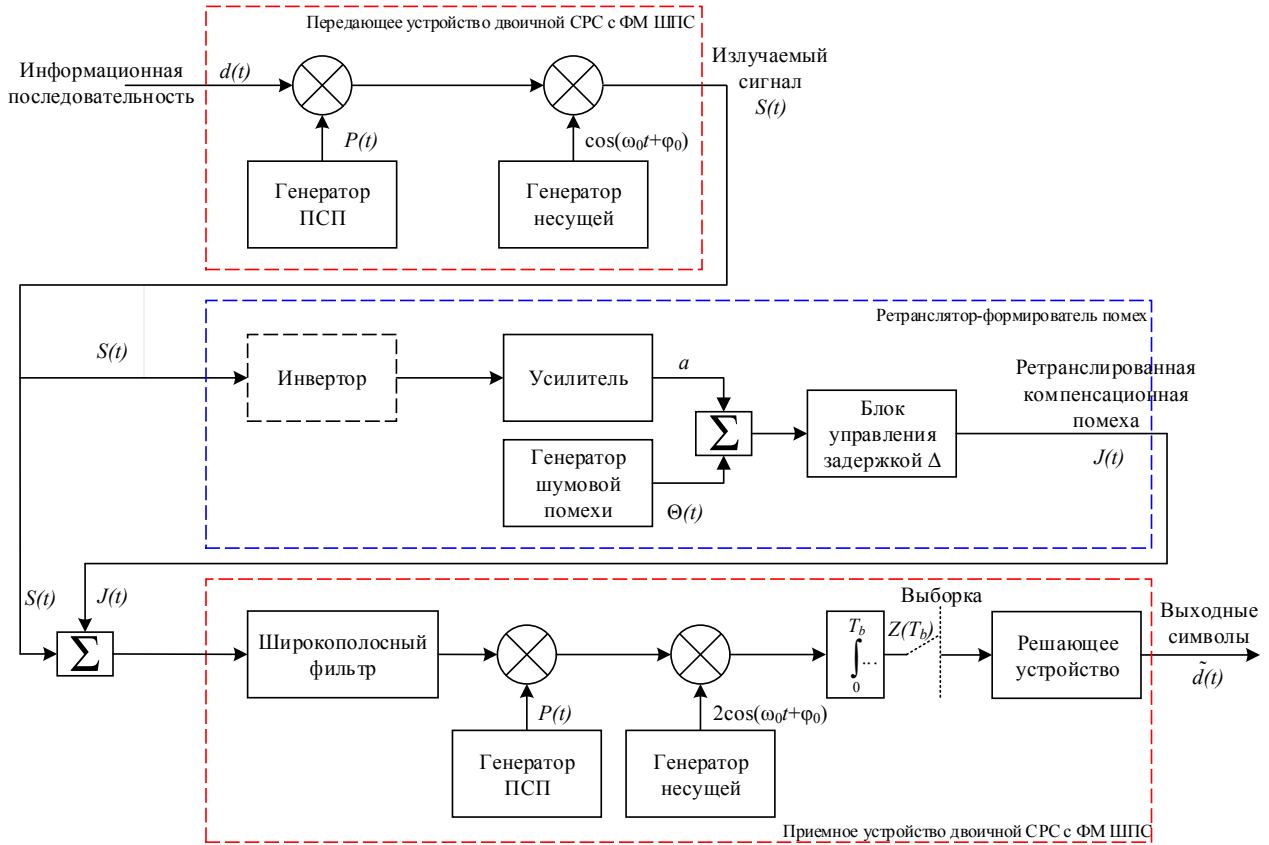


Рис. 1. Структурная схема ретранслятора-формирователя помех, передающего и приемного устройства двоичной СРС с ФМ ШПС

Учитывая, что $\Delta \ll T_b$, а следовательно, можно принять, что $d(t) \approx d(t - \Delta)$, а также тот факт, что при сходном характере и равенстве средней мощности шумов $n(t) + n_J(t) \approx \sqrt{2} \cdot n(t)$, перепишем выражение (6) в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 S_d(t) &\approx \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + \sqrt{2} \cdot n(t) \cdot p(t) + \hat{\Theta}(t) \cdot p(t) - \\
 &\quad - a \cdot \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot p(t) \cdot p(t - \Delta) \cdot \cos(\omega_0(t - \Delta) + \varphi_1).
 \end{aligned} \quad (6)$$

Применив формулу преобразования косинуса суммы к формуле (7), получим

$$\begin{aligned}
 S_d(t) &\approx \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1) + \sqrt{2} \cdot n(t) \cdot p(t) + \hat{\Theta}(t) \cdot p(t) - \\
 &\quad - a \cdot \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot p(t) \cdot p(t - \Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_1) - \\
 &\quad - a \cdot \sqrt{2P_S} \cdot d(t) \cdot p(t) \cdot p(t - \Delta) \cdot \sin(\omega_0 \Delta) \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_1).
 \end{aligned} \quad (7)$$

В предположении идеальной синхронизации статистика решения $Z(T_b)$ на выходе интегратора определяется следующим образом:

$$\begin{aligned}
Z(T_b) = & \pm\sqrt{2P_S} \cdot T_b + 2\sqrt{2} \int_0^{T_b} n(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt + 2 \int_0^{T_b} \hat{\Theta}(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt - \\
& - a \cdot 2\sqrt{2P_S} \int_0^{T_b} d(t) p(t) p(t - \Delta) \cos(\omega_0 \Delta) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt - \\
& - a \cdot 2\sqrt{2P_S} \int_0^{T_b} d(t) p(t) p(t - \Delta) \sin(\omega_0 \Delta) \sin(\omega_0 t + \varphi_1) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt. \quad (8)
\end{aligned}$$

Учитывая, что

$$\begin{aligned}
a \cdot 2\sqrt{2P_S} \int_0^{T_b} d(t) p(t - \Delta) p(t) \cos(\omega_0 \Delta) \cos(\omega_0 t + \varphi_1)^2 dt & \approx \pm a \cdot \sqrt{2P_S} \cos(\omega_0 \Delta) \int_0^{T_b} p(t) p(t - \Delta) dt, \\
a \cdot 2\sqrt{2P_S} \int_0^{T_b} d(t) p(t) p(t - \Delta) \sin(\omega_0 \Delta) \sin(\omega_0 t + \varphi_1) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt & \approx 0,
\end{aligned}$$

перепишем равенство (8) в ином виде:

$$\begin{aligned}
Z(T_b) \approx & \pm\sqrt{2P_S} \cdot T_b + 2\sqrt{2} \int_0^{T_b} n(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt + 2 \int_0^{T_b} \hat{\Theta}(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt - \\
& - \left[\pm a \cdot \sqrt{2P_S} \cos(\omega_0 \Delta) \int_0^{T_b} p(t) p(t - \Delta) dt \right]. \quad (9)
\end{aligned}$$

В выражении (9) присутствует интеграл $\int_0^{T_b} p(t) p(t - \Delta) dt$, который представляет собой фактически автокорреляционную функцию бинарной ПСП на интервале $[0, T_b]$. Вид такой функции известен [3]:

$$\mathbf{R}_p(\Delta) = \frac{1}{T_b} \int_0^{T_b} p(t) p(t - \Delta) dt = \begin{cases} 1 - \frac{|\Delta|(B-1)}{B\tau_n}, & |\Delta| < \tau_n; \\ \frac{1}{B}, & |\Delta| \geq \tau_n. \end{cases} \quad (10)$$

С учетом правила (10) перепишем выражение (9) в ином виде:

$$\begin{aligned}
Z(T_b) \approx & \pm\sqrt{2P_S} \cdot T_b + 2\sqrt{2} \int_0^{T_b} n(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt + 2 \int_0^{T_b} \hat{\Theta}(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt - \\
& - \left[\pm a \cdot \sqrt{2P_S} \cdot T_b \cdot \cos(\omega_0 \Delta) \mathbf{R}_p(\Delta) \right] = \pm\sqrt{2P_S} \cdot T_b (1 - a \cdot \cos(\omega_0 \Delta) \mathbf{R}_p(\Delta)) + \\
& + 2\sqrt{2} \int_0^{T_b} n(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt + 2 \int_0^{T_b} \hat{\Theta}(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt. \quad (11)
\end{aligned}$$

Решающее устройство принимает решения в пользу символа $d(t)=1$ при $Z(T_b) \geq 0$ и $d(t)=-1$ при $Z(T_b) < 0$. Решение будет принято с ошибкой, если $Z(T_b) < 0$, когда передавался символ $d(t)=1$, и наоборот. Как известно [1], средняя вероятность ошибки на бит информации в условиях гауссовских помех может быть определена из выражения

$$P_E = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{q}{\sqrt{2}} \right), \quad (12)$$

где $\operatorname{erfc}(x)$ – дополнительный интеграл ошибок, $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2) dt$;

q^2 – отношение сигнал-шум (средней мощности сигнала к средней мощности шума), $q^2 = \frac{E^2 \{ Z(T_b) \}}{D \{ Z(T_b) \}}$, здесь $E \{ Z(T_b) \}$ и $D \{ Z(T_b) \}$ – математическое ожидание и дисперсия решающей статистики.

Так как $\hat{\Theta}(t)$ – стационарный случайный процесс с нулевым средним значением, статистически независимый от $n(t)$, $p(t)$ и φ_1 , то математическое ожидание статистики решения $Z(T_b)$ будет следующим:

$$E \{ Z(T_b) \} = \pm \sqrt{2P_S} \cdot T_b \cdot (1 - a \cdot \cos(\omega_0 \Delta) \mathbf{R}_p(\Delta)). \quad (13)$$

Дисперсия статистики решения $Z(T_b)$ на основе равенства (8) и условия статистической независимости $\hat{\Theta}(t)$, $n(t)$, $p(t)$ равна сумме дисперсий:

$$D \{ Z(T_b) \} = D \{ z_{11} \} + D \{ z_{12} \}, \quad (14)$$

где $z_{11} = 2\sqrt{2} \int_0^{T_b} n(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt$, $z_{12} = 2 \int_0^{T_b} \hat{\Theta}(t) p(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) dt$.

Определим дисперсию z_{11} [1]:

$$D \{ z_{11} \} = 8 \iint_0^{T_b} E \{ n(t) n(s) \} E \{ p(t) p(s) \} \cos(\omega_0 t + \varphi_1) \cos(\omega_0 s + \varphi_1) dt ds. \quad (15)$$

Расширяющую спектр сигнала функцию $p(t)$ для больших значений коэффициента сжатия $B \gg 1$ можно аппроксимировать на интервале $[0, T_b]$ случайной бинарной последовательностью, принимающей значения ± 1 через интервал времени $\tau_n = \frac{T_b}{B}$. Так, в частности, автокорреляционная функция M -последовательности с числом элементов B с учетом правила (10) имеет вид

$$\mathbf{R}_p(t-s) = E \{ p(t) p(s) \} = \begin{cases} 1 - \frac{|t-s|(B-1)}{B\tau_n}, & |t-s| < \tau_n; \\ \frac{1}{B}, & |t-s| \geq \tau_n. \end{cases} \quad (16)$$

Учитывая данные особенности и проведя преобразования, перепишем выражение (15) в следующем виде:

$$D \{ z_{11} \} = 2N_0 \mathbf{R}_p(0) \int_0^{T_b} [1 + \cos(2\omega_0 s + 2\varphi_1)] ds \approx 2N_0 T_b. \quad (17)$$

При вычислении $D\{z_{12}\}$ учтем тот факт, что частотные параметры $\hat{\Theta}(t)$ согласованы с аналогичными параметрами подавляемого сигнала, а дисперсия задана величиной σ^2 . По аналогии с выражением (15) запишем:

$$\begin{aligned} D\{z_{12}\} &= 4 \iint_0^{T_b} E\{\hat{\Theta}(t)\hat{\Theta}(s)\} E\{p(t)p(s)\} \cos(\omega_0 t + \varphi_1) \cos(\omega_0 s + \varphi_1) dt ds = \\ &= 4 \iint_0^{T_b} \mathbf{R}_{\hat{\Theta}}(t-s) \mathbf{R}_p(t-s) \cos(\omega_0 t + \varphi_1) \cos(\omega_0 s + \varphi_1) dt ds, \end{aligned} \quad (18)$$

где

$$\mathbf{R}_{\hat{\Theta}}(t-s) = E\{\hat{\Theta}(t)\hat{\Theta}(s)\} = \sigma^2 \frac{\sin\left[\frac{W_1}{2}(t-s)\right]}{\left[\frac{W_1}{2}(t-s)\right]} \cos(\omega_1(t-s)). \quad (19)$$

Здесь W_1 – полоса частот сигнала;

ω_1 – несущая частота помехи;

По условию помеха $\hat{\Theta}(t)$ согласована с полосой частот сигнала и обладает равномерным спектром в пределах этой полосы, т.е.

$$S_{\hat{\Theta}}(\omega) = \begin{cases} \frac{\pi\sigma^2}{2W_1}, & |\omega \pm \omega_1| \leq \frac{W_1}{2}; \\ 0, & |\omega \pm \omega_1| > \frac{W_1}{2}. \end{cases}$$

Введем в выражении (19) замену переменных $\tau = t-s$, $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_1$, а также применим правило произведения косинусов. Тогда после преобразований получим

$$\begin{aligned} D\{z_{12}\} &= 2 \int_{-T_b}^{T_b} \mathbf{R}_{\hat{\Theta}}(\tau) \mathbf{R}_p(\tau) [T_b - |\tau|] \cos(\omega_0 \tau) d\tau \approx \\ &\approx \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \int_{-T_b}^{T_b} \cos(\Delta\omega\tau) \frac{\sin\left[\frac{W_1}{2}\tau\right]}{\tau} \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|(B-1)}{B\tau_n}, & |\tau| < \tau_n \\ \frac{1}{B}, & |\tau| \geq \tau_n \end{cases} d\tau = \\ &= \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \int_{-\tau_n}^{\tau_n} \cos(\Delta\omega\tau) \frac{\sin\left[\frac{W_1}{2}\tau\right]}{\tau} \left[1 - \frac{|\tau|(B-1)}{B\tau_n}\right] d\tau + \frac{4\sigma^2 T_b}{W_1 B} \int_{\tau_n}^{T_b} \cos(\Delta\omega\tau) \frac{\sin\left[\frac{W_1}{2}\tau\right]}{\tau} d\tau. \end{aligned} \quad (20)$$

Учитывая, что $\frac{W_1}{2}\tau_n = \pi$, а $\frac{W_1}{2}T_b = \pi B$, то после преобразования (20) получим

$$\begin{aligned}
D\{z_{12}\} = \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} & \left\{ \begin{array}{l} \pi + \frac{2\pi \cos(\Delta\omega\tau_n)}{\pi^2 - (\Delta\omega\tau_n)^2}, \frac{\pi}{\tau_n} \gg |\Delta\omega| \\ 2|\Delta\omega|\tau_n \cos(\Delta\omega\tau_n), \frac{\pi}{\tau_n} \ll |\Delta\omega| - \\ \frac{\pi}{2} \frac{\cos(|\Delta\omega|\tau_n)}{\pi + |\Delta\omega|\tau_n}, \frac{\pi}{\tau_n} \approx |\Delta\omega| \end{array} \right. \\
& - \frac{2\sigma^2 (B-1)}{W_1} \left[\frac{1 + \cos(\Delta\omega\tau_n)}{\left(\frac{W_1}{2} - \Delta\omega\right)} + \frac{1 + \cos(\Delta\omega\tau_n)}{\left(\frac{W_1}{2} + \Delta\omega\right)} \right] + \\
& + \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1 B} \left\{ \begin{array}{l} \pi - \left[\frac{\cos(\Delta\omega T_b + \pi B)}{\Delta\omega T_b + \pi B} + \frac{\cos(\pi B - \Delta\omega T_b)}{\pi B - \Delta\omega T_b} \right], \frac{\pi}{\tau_n} \gg |\Delta\omega|; \\ \frac{\cos(\Delta\omega T_b - \pi B)}{\Delta\omega T_b - \pi B} - \frac{\cos(\Delta\omega T_b + \pi B)}{\Delta\omega T_b + \pi B}, \frac{\pi}{\tau_n} \ll |\Delta\omega|; \\ \frac{\pi}{2} \frac{\cos(|\Delta\omega|T_b + \pi B)}{|\Delta\omega|T_b + \pi B}, \frac{\pi}{\tau_n} \approx |\Delta\omega|. \end{array} \right. \quad (21)
\end{aligned}$$

Введем ограничение: пусть база B – нечетное число, тогда

$$D\left(z_{12}|\Delta\omega \ll \frac{W_1}{2}\right) \approx \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \left(\pi + \frac{2}{\pi}\right) - \frac{8\sigma^2 (B-1)}{W_1^2} + \frac{2\pi\sigma^2 T_b}{W_1} \approx \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \left(2\pi + \frac{2}{\pi B}\right) \approx \frac{4\pi\sigma^2 T_b}{W_1};$$

$$D\left(z_{12}|\Delta\omega \approx \frac{W_1}{2}\right) \approx \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{1}{2\pi}\right) + \frac{\pi\sigma^2 T_b}{W_1 B} = \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2B}\right) \approx \frac{\pi\sigma^2 T_b}{W_1};$$

$$\begin{aligned}
D(z_{12}|\Delta\omega = W_1) & \approx \left(\frac{2\cos(\Delta\omega\tau_n)}{|\Delta\omega|\tau_n} - \frac{(B-1)}{T_b} \left[\frac{1 + \cos(\Delta\omega\tau_n)}{\left(\frac{W_1}{2} - \Delta\omega\right)} + \frac{1 + \cos(\Delta\omega\tau_n)}{\left(\frac{W_1}{2} + \Delta\omega\right)} \right] + \frac{4}{B} \frac{\cos(\Delta\omega T_b)}{|\Delta\omega|T_b - \frac{(\pi B)^2}{|\Delta\omega|T_b}} \right) \times \\
& \times \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \approx \frac{2\sigma^2 T_b}{W_1} \left[\frac{4}{3\pi} - \frac{4}{3\pi} + \frac{4}{3\pi B} \right] \approx \frac{8\sigma^2 T_b}{3\pi B W_1}.
\end{aligned}$$

Следовательно, окончательно получим следующую оценку дисперсии статистики $Z(T_b)$:

$$D\{Z(T_b)\} = \begin{cases} 2N_0 T_b + \frac{4\pi\sigma^2 T_b}{W_1}, & \Delta\omega \ll \frac{W_1}{2}; \\ 2N_0 T_b + \frac{\pi\sigma^2 T_b}{W_1}, & \Delta\omega \approx \frac{W_1}{2}; \\ 2N_0 T_b + \frac{8\sigma^2 T_b}{3\pi B W_1}, & \Delta\omega \gg \frac{W_1}{2}. \end{cases} \quad (22)$$

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ НА БИТ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ

Теперь перейдем к определению выражения для средней вероятности ошибки на бит информации P_E , выражение (12) для расчета которой получено ранее.

С учетом формулы (13) найдем квадратный корень отношения сигнал-шум:

$$q = \begin{cases} \sqrt{\frac{P_S B [1 - a \cdot \Delta \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)]^2}{P_{\text{ш}} + P_{\text{п}}}}, & \Delta \omega \ll \frac{W_1}{2}; \\ \sqrt{\frac{P_S B [1 - a \cdot \Delta \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)]^2}{P_{\text{ш}} + \frac{P_{\text{п}}}{4}}}, & \Delta \omega \approx \frac{W_1}{2}; \\ \sqrt{\frac{P_S B [1 - a \cdot \Delta \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)]^2}{P_{\text{ш}} + \frac{2P_{\text{п}}}{3\pi^2 B}}}, & \Delta \omega \gg \frac{W_1}{2}; \end{cases}$$

где P_S – средняя мощность полезного сигнала;

$P_{\text{ш}}$ – средняя мощность шума;

$P_{\text{п}}$ – средняя мощность формирующего шума, используемого при формировании помехи, $P_{\text{п}} = \sigma^2$.

Подставляя полученное выражение в формулу (12), получим

$$P_E(a, \Delta) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \begin{cases} |1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)| \sqrt{\frac{P_S B}{2(P_{\text{ш}} + P_{\text{п}})}}, & \Delta \omega \ll \frac{W_1}{2} \\ |1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)| \sqrt{\frac{P_S B}{2P_{\text{ш}} + \frac{P_{\text{п}}}{2}}}, & \Delta \omega \approx \frac{W_1}{2} \\ |1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)| \sqrt{\frac{P_S B}{2P_{\text{ш}} + \frac{4P_{\text{п}}}{3\pi^2 B}}}, & \Delta \omega \gg \frac{W_1}{2} \end{cases} \right.$$

Обозначим $\rho_{\text{п}} = \frac{P_S}{P_{\text{п}}}$, $\rho_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{п}}}$, тогда финальное выражение для определения средней вероятности ошибки на бит информации P_E как функции от q может быть записано в следующем виде:

$$P_E(a, \Delta) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \begin{array}{l} |1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)| \sqrt{\frac{\rho_n B}{2(\rho_n + 1)}}, \Delta \omega \ll \frac{W_1}{2} \\ |1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)| \sqrt{\frac{\rho_n B}{2\rho_n + \frac{1}{2}}}, \Delta \omega \approx \frac{W_1}{2} \\ |1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta)| \sqrt{\frac{\rho_n B}{2\rho_n + \frac{4}{3\pi^2 B}}}, \Delta \omega \gg \frac{W_1}{2} \end{array} \right. \quad (23)$$

Характер зависимости средней вероятности ошибки на бит передаваемой информации (23) от параметра временной задержки Δ показан на рис. 2.

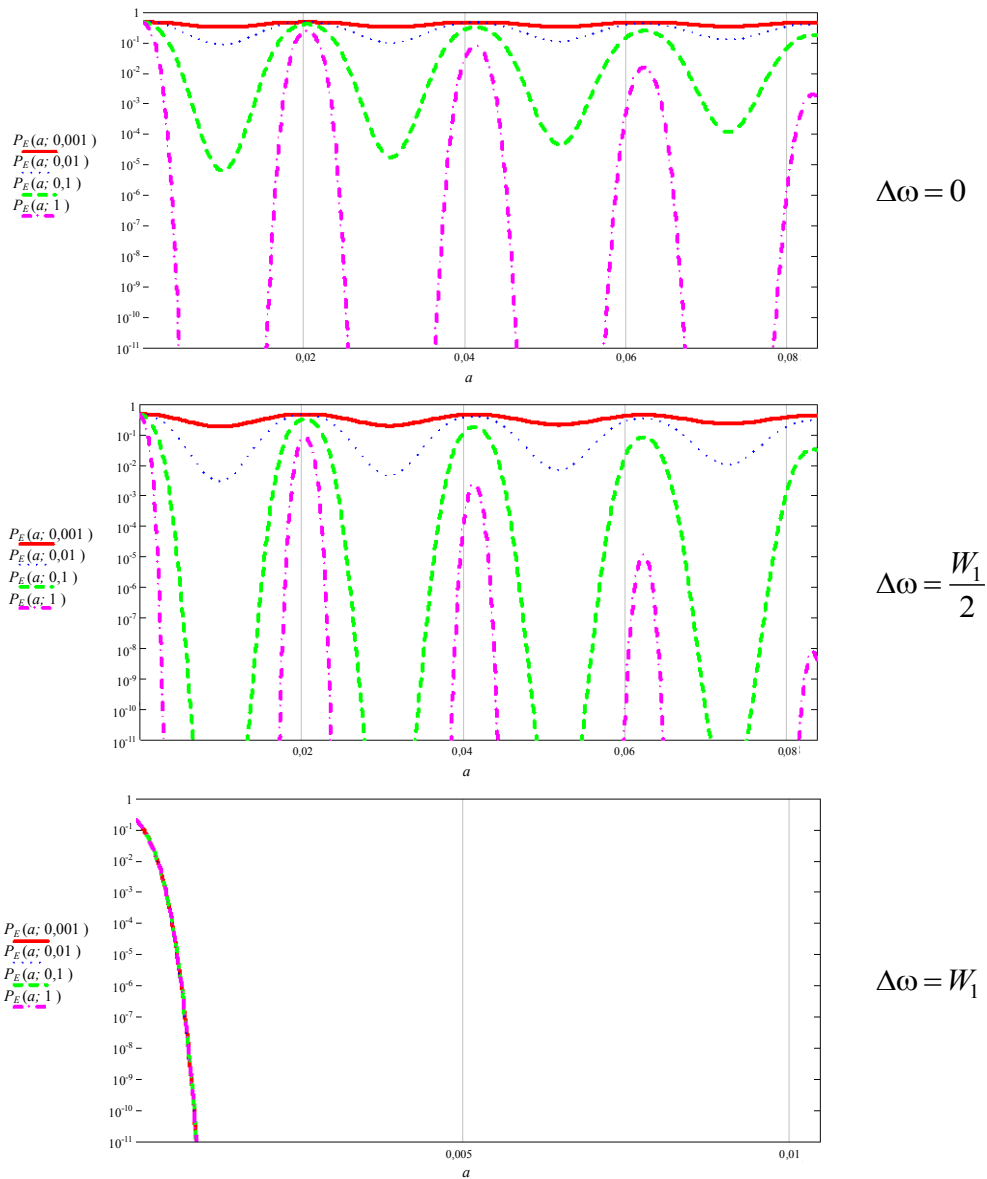


Рис. 2. Зависимости средней вероятности ошибки на бит передаваемой информации для ретранслированной помехи типа прямой инверсии сигнала от параметра Δ для $\omega_0 = 300$, $W_1 = 62$, $a = 1$, $B = 100$ и разных отношений сигнал-помеха $\rho_n = 0,001; 0,01; 0,1; 1$ и частот расстройки шумовой помехи $\Delta\omega = 0; W_1/2; W_1$

Анализ выражения (23) для расчета СВО на бит передаваемой информации в канале связи с двоичными фазоманипулированными широкополосными сигналами при воздействии ретранслированных помех рассматриваемого типа указывает на возможность добиваться высокой результативности подавления на основе выбора значений параметров a, Δ . Так, в частности, для данной помехи могут быть предъявлены следующие требования к параметрам a, Δ исходя из необходимости выполнения условия заданной эффективности подавления при отсутствии смещения частоты формирующего шума относительно несущей сигнала:

$$\left| 1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta) \right| \sqrt{\frac{\rho_{\text{ш}} B}{2(\rho_{\text{ш}} + 1)}} \leq \gamma,$$

где γ – пороговая величина, соответствующая требуемой СВО на бит передаваемой информации в канале связи с двоичными ФМ ШПС при воздействии помех, т. е. $\frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\gamma) = P_{\text{Етр}}$.

Представим данное неравенство в следующем виде:

$$\left| 1 - a \cdot R_p(\Delta) \cdot \cos(\omega_0 \Delta) \right| \leq \frac{\gamma}{\rho_{\text{сп}}},$$

где $\rho_{\text{сп}} = \frac{\sqrt{BP_S}}{\sqrt{2(P_{\text{ш}} + P_{\text{п}})}}$, тогда решение данного неравенства будет иметь следующий вид:

$$\frac{1}{R_p(\Delta) \cos(\omega_0 \Delta)} \left(1 - \frac{\gamma}{\rho_{\text{сп}}} \right) \leq a \leq \frac{1}{R_p(\Delta) \cos(\omega_0 \Delta)} \left(1 + \frac{\gamma}{\rho_{\text{сп}}} \right).$$

Введем обозначение $\Psi(\Delta) = \frac{1}{R_p(\Delta) \cos(\omega_0 \Delta)}$, тогда $\Psi(\Delta) \left(1 - \frac{\gamma}{\rho_{\text{сп}}} \right) \leq a \leq \Psi(\Delta) \left(1 + \frac{\gamma}{\rho_{\text{сп}}} \right)$.

Для некоторого идеального случая закон управления амплитудой помехи можно принять в виде $a^* = \Psi(\Delta)$, что соответствует середине данного интервала, в результате этого и на основании правила (16) имеем

$$\Psi(\Delta) = \begin{cases} \frac{-B}{\left(\frac{|\Delta|}{\tau_{\text{и}}} (B-1) - B \right) \cos(\omega_0 \Delta)}, & |\Delta| < \tau_{\text{и}}; \\ \frac{B}{\cos(\omega_0 \Delta)}, & |\Delta| \geq \tau_{\text{и}}; \end{cases} \quad \text{при условии } \omega_0 \Delta \neq \frac{\pi}{2} + k\pi, k = 0, 1, 2, \dots \quad (24)$$

Таким образом, модель ретранслированной компенсационной помехи типа полной инверсии сигнала (2) с учетом (24) будет иметь следующий вид:

$$\mathcal{J}(t) = \hat{\Theta}(t) - \sqrt{2P_S} \cdot \Psi(\Delta) \cdot d(t-\Delta) \cdot p(t-\Delta) \cos(\omega_0(t-\Delta) + \varphi_1). \quad (25)$$

Выражение (24) представляет собой искомый закон управления коэффициентом усиления ретранслятора a^* . Характер зависимости (24) показан на рис. 3.

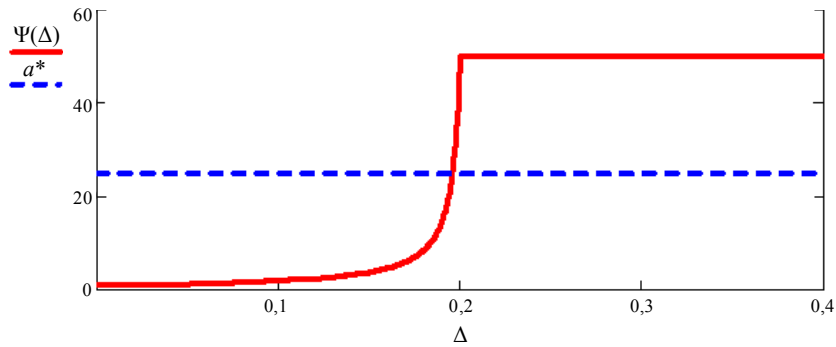


Рис. 3. График функции $\Psi(\Delta)$ без учета функции $\cos(\omega_0\Delta)$ для $B = 50$ и $\tau_n = 0,2$

В силу того что параметр a является фактически коэффициентом усиления ретранслируемого сигнала и, следовательно, влияет на энергетические затраты при создании помех, диапазон выбора значений параметра a также должен ограничиваться значением максимальной или средней мощности передатчика ретранслятора $P_{\text{прд ср}}$. Функционально связь предельного значения параметра a от средней мощности передатчика может быть представлена следующим образом:

$$a_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{P_{\text{прд ср}} G_n \lambda^2 \eta(R_n) - P_{\text{п вх}}(\gamma)}{(4\pi R_n)^2 P_{\text{с вх}}}},$$

где $P_{\text{п вх}}(\gamma)$ – требуемая средняя мощность шумовой помехи $\hat{\Theta}(t)$ на входе подавляемого РЭС для достижения средней вероятности на бит передаваемой информации $P_{\text{Етр}}$;

G_n – коэффициент усиления передающей антенны ретранслятора;

λ – длина волны излучения ретранслятора;

R_n – дальность подавления;

$\eta(R_n)$ – коэффициент дополнительных потерь при распространении радиоволн;

$P_{\text{с вх}}$ – средняя мощность подавляемого сигнала на входе РЭС.

Примерное значение величины $a_{\text{пр}}$ также показано на рис. 3.

Итак, если в выражение (23) вместо коэффициента a подставить найденный ранее закон управления $\Psi(\Delta)$, то получим следующее выражение для расчета средней вероятности искажения бита передаваемой информации:

$$P_E(a, \Delta) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\left| 1 - \Psi(\Delta) R_p(\Delta) \cos(\omega_0 \Delta) \right| \sqrt{\frac{P_S B}{2(P_{\text{ш}} + P_n)}}, \Delta \omega \ll \frac{W_1}{2} \right). \quad (26)$$

График данной зависимости, в сравнении с зависимостью (23) для $\Delta \omega \ll W_1/2$, для отношения сигнал-помеха $\rho_n = 0,1$ показан на рис. 4.

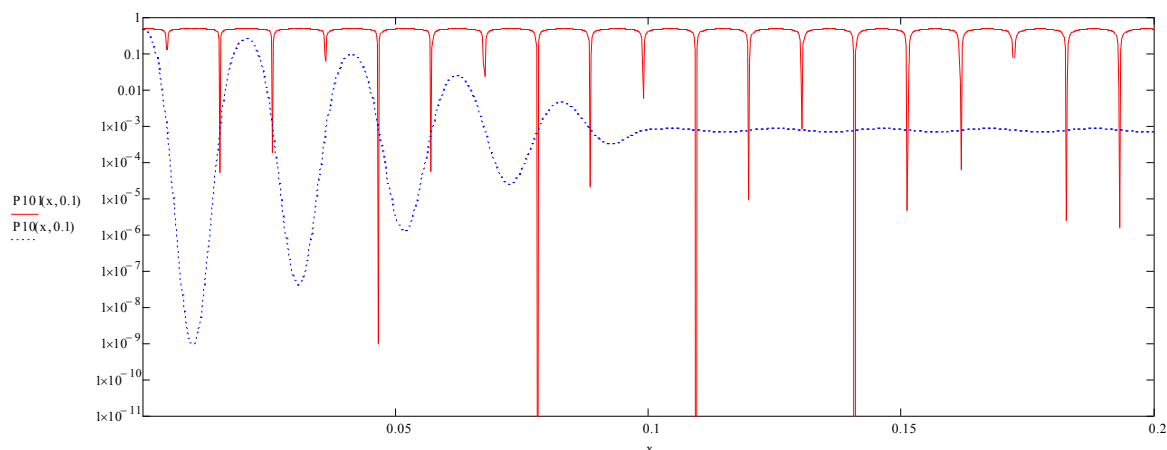


Рис. 4. График функции $P_E(a^*, \Delta)$ для $\Delta\omega \ll W_1/2$ и отношения сигнал-помеха $\rho_n = 0,1$ в сравнении с аналогичной по смыслу функцией (23), полученной для неуправляемого коэффициента усиления ретранслятора

Анализ выражения (26) и зависимости на рис. 4 позволяет сделать вывод о высоком потенциальном уровне опасности помехи рассматриваемого типа с учетом возможности управления коэффициентом усиления по показателю средней вероятности битовой ошибки даже при значительных временных задержках Δ .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа негативного влияния ретранслированных компенсационных помех типа прямой инверсии сигнала на высокопомехоустойчивые СРС с двоичными ФМ ШПС подтверждена потенциально высокая результативность таких помех даже в тех случаях, когда отношение сигнал-помеха становится существенно (в 5–10 раз) ниже базы широкополосного сигнала, что не характерно для традиционных широкополосных и узкополосных шумовых помех. Найдены верхние границы вероятности битовой ошибки.

Вместе с тем достигаемая высокая результативность рассматриваемых помех существенно зависит от времени задержки помехи относительно подавляемого сигнала, а следовательно, и от расположения ретранслятора на трассе распространения сигнала. При этом преимущественное размещение ретранслятора-формирователя помех должно выбираться исходя из необходимости минимизации указанного параметра, одновременно удовлетворяя следующим условиям: задержка поступления помехи на входе приемного устройства СРС относительно подавляемого сигнала должна быть кратна периоду следования информационных символов с погрешностью, не превышающей длительность импульса ПСП.

Расстройка несущих частот шумовой составляющей рассматриваемой помехи и подавляемого сигнала до уровня половины ширины полосы частот сигнала будет приводить лишь к незначительному монотонному снижению средней вероятности ошибки на бит передаваемой информации. Превышение расстройки частот более указанного предела приведет к резкому снижению выбранного показателя результативности.

Рассматриваемые помехи могут быть существенно оптимизированы если использовать управляемый коэффициент усиления ретранслятора, значения которого должны выбираться исходя из правила обратных значений уровня автокорреляционной функции ПСП для заданной временной задержки помехи относительно подавляемого сигнала.

Список используемых источников

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, В.И. Шестопапов; под. ред. В.И. Борисова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: РадиоСофт, 2011. – 550 с.
2. Вознюк В.В., Богаченков К.Н., Маслаков П.А. Особенности создания помех компенсационного типа для решения задач защиты информации от утечки по техническим каналам // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. 646. – С. 83–92.
3. Винокуров В.И., Ваккер Р.А. Вопросы обработки сложных сигналов в корреляционных системах. – М.: Сов. радио, 1972. – 216 с.

М.Н. Квасов;
Е.Н. Косяков,
кандидат техн. наук, доцент;
А.Г. Шадрин,
кандидат техн. наук

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОПЕРАТИВНОСТИ РЕКОНФИГУРАЦИИ УЗЛОВ СЕТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА

В работе представлена методика обоснования требований к оперативности реконфигурации узлов сети информационного обмена. Методика основывается на расчете начальных моментов распределений анализируемых задержек с использованием метода комбинации двух стандартных моделей массового обслуживания и аппроксимации искомых распределений по методу моментов. Решена задача оценивания показателей оперативности доставки сообщений для различных значений длительности «разогрева» и уровня нагрузки системы.

Ключевые слова: система информационного обмена, оперативная реконфигурация сети, система обслуживания с «разогревом».

В системах информационного обмена одним из вариантов резервирования наземных каналов является использование спутниковых систем передачи информации, что позволяет оперативно организовать дополнительное радионаправление на отказавшем участке сети. При этом время включения и настройки («разогрева») резервного спутникового канала в значительной мере влияет на своевременность доставки передаваемых по сети сообщений и, как следствие, на качество обслуживания потребителей. В работе представлена модель обслуживания информационных потоков в спутниковых сетях передачи информации с резервированием информационных направлений на основе модели системы обслуживания с «разогревом». Рассматриваются случаи выхода из строя основного канала и последующее включение резервного спутникового канала обслуживания (возможно, с отличающимися характеристиками). В модели учтены интервалы времени «разогрева» (настройки, синхронизации и т.п.) резервного канала. После переключения на резервный канал начинается восстановление основного канала, которое также продолжается некоторое случайное время. Обратное переключение на основной канал также происходит не мгновенно, а с временными затратами на «разогрев».

Цель работы состоит в разработке методики обоснования требований к оперативности реконфигурации узлов сети информационного обмена в зависимости от длительности «разогрева» и уровня нагрузки системы.

Вопросы перераспределения и резервирования ресурсов сетей информационного обмена рассматривались в работах Е.А. Новикова [1–4], С.И. Макаренко [2], С.Х. Зиннурова [3, 4, 6], А.Р. Павлова [4], К.Ю. Цветкова, А.В. Родионова, А.Ф. Акмолова [5], И.С. Топоркова, А.А. Ковальского [6]. В отличие от перечисленных работ, в разработанной методике учитывается дополнительная задержка, возникающая вследствие «разогрева» резервного канала.

Периоды исправной работы основного канала, «разогрева» резервного канала и восстановления основного канала полагаются случайными величинами. В отличие от подхода, изложенного в работе [7], снимается допущение об экспоненциальных законах распределения длительности разогрева и времени обслуживания сообщений. Будем полагать, что перечисленные случайные величины задаются законами распределения общего вида с известными

преобразованиями Лапласа – Стильтеса (ПЛС). При этом в качестве модели входного потока сообщений по-прежнему полагается простейший поток с интенсивностью поступления сообщений λ , а длительность обслуживания (передачи) сообщения полагается случайной величиной с законом распределения $B(t)$, имеющим ПЛС $\beta(s)$, и средним значением:

$$\bar{b} = \bar{L}_c / C_k, \quad (1)$$

где C_k – пропускная способность канала;
 \bar{L}_c – средняя длина сообщения.

Сообщения, поступающие в мультиплексор земной станции (ЗС), накапливаются в буфере и передаются по основному каналу (при его исправности). В случае неисправности основного канала сообщения передаются по резервному каналу (после его «разогрева»). При переполнении буфера часть «устаревших» сообщений сбрасывается, чтобы освободить место для вновь поступающих сообщений. Полагается, что задача восстановления и повторной передачи потерянных сообщений решается протоколами верхних уровней. Однако следует отметить, что предельная задержка и допустимая доля потерь сообщений при передаче различных видов информации (речь, данные, видео) регламентируются документами Международного союза электросвязи [8]. Требования к предельным задержкам представлены на рис. 1.

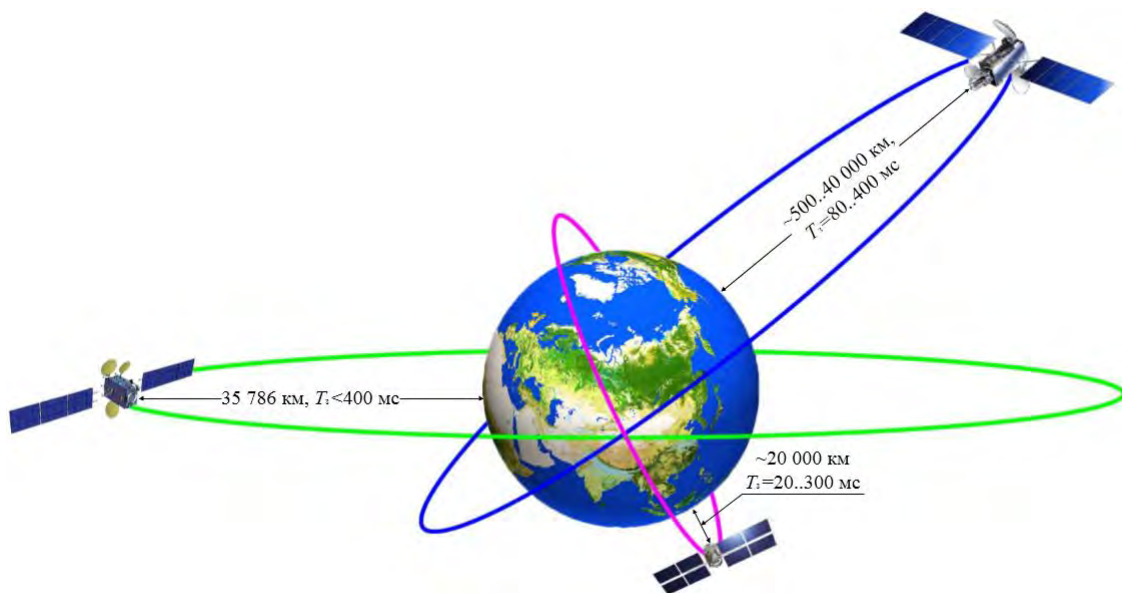


Рис. 1. Предельная задержка при передаче сообщений речевого трафика

При исследовании общей задержки сообщений в буфере ЗС можно выделить две случайные составляющие. Первая из них обусловлена случайной задержкой при предоставлении и настройке резервного радиоканала. При выходе из строя основного канала ЗС ожидает в течение некоторого случайного времени $\hat{\theta}$ до тех пор, пока ей не будет предоставлен резервный канал. Вторая составляющая задержки $\hat{\omega}$ связана с процессом передачи сообщений по резервному каналу и обусловлена случайным характером потока сообщений и конечной скоростью передачи по каналу, а также степенью наполненности буфера к моменту предоставления канала. С учетом того что после предоставления канала конкретному источнику сообщения этого источника обслуживаются только в этом канале, вторую составляющую общей задержки $\hat{\omega}$ можно интерпретировать как случайное время ожидания в стандартной одноканальной системе массового обслуживания (СМО) вида $M/G/1$.

Для СМО с «разогревом» случайная величина времени ожидания может быть представлена в виде суммы двух независимых случайных величин: случайной величины времени ожи-

дания $\hat{\omega}$ в обычной СМО вида $M/G/1$ (без «разогрева») и случайной величины дополнительной задержки \hat{d} , закон распределения которой может быть задан преобразованием ПЛС функции распределения [9]:

$$D(s) = \frac{\lambda + \theta(s)(s - \lambda)}{s(1 + \lambda\theta_1)} \quad (2)$$

где $\theta(s)$ – ПЛС распределения длительности периода «разогрева»;

$\bar{\theta}_1$ – первый начальный момент распределения случайной длительности «разогрева».

Отсутствие явных аналитических выражений для искомым законов распределений не позволяет составить систему функциональных уравнений и решить ее одним из известных методов. Поэтому в работе используется метод аппроксимации распределений по начальным моментам [10]. С помощью дифференцирования в нуле ПЛС $f(s)$ функции распределения $F(t)$ некоторой случайной величины можно вычислить начальные моменты распределения $\{\bar{f}^k, k = 1, 2, 3, \dots\}$:

$$\bar{f}^k = (-1)^k \frac{d^k}{ds^k} f(s)|_{s=0}.$$

Так, применение указанного приема к выражению (2) позволяет определить начальные моменты распределения времени дополнительной задержки в буфере ЗС вследствие «разогрева» резервного канала:

$$\bar{d}^n = \frac{\bar{\theta}^n + \lambda\bar{\theta}^{n+1}}{1 + \lambda\bar{\theta}} / (n+1) \quad (3)$$

где \bar{d}^n , $\bar{\theta}^n$ – начальные моменты распределений величины дополнительной задержки и длительности периода «разогрева» соответственно.

Используя соотношение (3) и формулу Такача [11] для начальных моментов времени ожидания в СМО вида $M/G/1$ (без «разогрева»)

$$\bar{\omega}^n = \frac{\lambda}{1 - \lambda\bar{b}} \sum_{i=1}^n \binom{n}{i} \frac{\bar{b}^{i+1}}{i+1} \bar{\omega}^{n-i}, \quad (4)$$

можно определить начальные моменты общей задержки в одноканальной СМО с «разогревом» вида $M/\theta G/1$, воспользовавшись соотношением для начальных моментов суммируемых случайных величин:

$$\bar{\omega}_\Sigma^n = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \bar{d}^i \bar{\omega}^{n-i}. \quad (5)$$

Для расчета временных характеристик СМО с «разогревом» вида $M/\theta G/1$ можно воспользоваться аппроксимацией распределения времени ожидания путем гиперэкспоненциального распределения [12, 13] вида

$$v(t) = \alpha \mu_1 e^{-\mu_1 t} + (1 - \alpha) \mu_2 e^{-\mu_2 t}. \quad (6)$$

Параметры аппроксимации (6) при известных начальных моментах (4) и (5) могут быть рассчитаны по формулам [13]:

$$\mu = \frac{\bar{v}_1 \bar{v}_2 - \bar{v}_3 \pm \sqrt{D}}{2(\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1 \bar{v}_3)},$$

$$\alpha = (\mu_1 \mu_2 \bar{v}_1 - \mu_1) / (\mu_2 - \mu_1),$$

где $D = (\bar{v}_3 - \bar{v}_1 \bar{v}_2)^2 - 4(\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1 \bar{v}_3)(\bar{v}_1^2 - \bar{v}_2)$, $\bar{v}_n = \bar{\omega}_\Sigma^n / n!$.

Подобная аппроксимация на основе выравнивания трех начальных моментов исходного распределения представляется наиболее предпочтительной, так как коэффициенты вариации

распределения времени ожидания для моделей вида $M/G/1$ при различных вариантах исходных данных принимают значения, как правило, превышающие единицу, что как раз и характерно для семейства гиперэкспоненциальных распределений. Зная выражение для функции распределения общей задержки, можно оценить значения вероятности своевременной передачи сообщений и, соответственно, вероятности превышения допустимой задержки (потери) сообщений:

$$V(t) = 1 - \alpha e^{-\mu_1 t} - (1 - \alpha) e^{-\mu_2 t}. \quad (7)$$

Вероятность превышения $P_{\text{пр}}$ допустимой задержки t_d найдем из следующего выражения:

$$P_{\text{пр}}(t_d) = 1 - V(t_d).$$

Осуществим тестирование предложенной методики обоснования требований к оперативности реконфигурации узлов сети информационного обмена в наиболее интересном для практики диапазоне удельной нагрузки на канал (ρ) от 0,6 до 0,9.

Применение предложенной методики обоснования требований к оперативности реконфигурации узлов сети информационного обмена рассмотрим на числовом примере.

Пусть пропускная способность канала $C_k = 1$ Мбит/с, средняя длина сообщения $\bar{L}_c = 1$ Кбит. При этом среднее время передачи одного сообщения $\bar{b} = 1$ мс, а интенсивность входного потока и, соответственно, нагрузка ρ изменяется от 0,6 до 0,9. Допустимая задержка составит: $t_{d1} = 150$ мс и $t_{d2} = 400$ мс. Оценки значений вероятности превышения $P_{\text{пр}}$ допустимой задержки представлены на рис. 2.

В условиях невысокой нагрузки ($\rho = 0,6 \div 0,7$) удастся обеспечить требуемую своевременность доставки сообщений при времени подключения резервного канала $\bar{\theta} < 50$ мс. Повышение нагрузки (ρ) до 0,8 практически исключает возможность своевременной доставки сообщений наиболее требовательных к оперативности приложений ($t_{d2} = 150$ мс). В условиях нагрузки, близкой к предельной ($\rho \cong 0,9$), для поддержания удовлетворительного качества обслуживания даже нечувствительных к задержке приложений потребуется обеспечить оперативность подключения резервного канала на уровне 20–30 мс либо ограничить нагрузку для потоков, заведомо не укладывающихся в норматив по задержке.

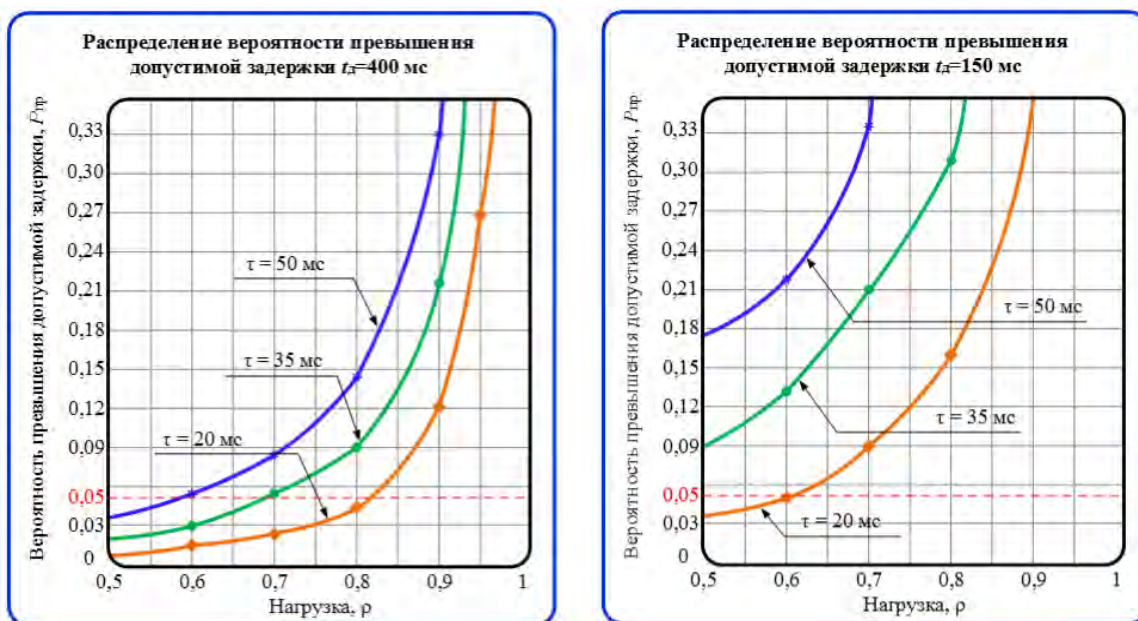


Рис. 2. Распределение вероятности превышения допустимой задержки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена методика обоснования требований к оперативности реконфигурации узлов сети информационного обмена в условиях отказа основного направления информационного обмена, с учетом времени «разогрева» канала. В отличие от работы [7], в разработанной модели снято допущение об экспоненциальном распределении периодов «разогрева» и длительности обслуживания (передачи) сообщений.

Получено аналитическое выражение (3) для вычисления начальных моментов дополнительной задержки вследствие «разогрева». Предложен способ аппроксимации распределения времени дополнительной задержки на основе гиперэкспоненциального распределения.

Получены оценки вероятности превышения допустимой задержки в зависимости от нагрузки и времени «разогрева», что позволяет обосновать требования к времени переключения и настройки резервных каналов, а также к уровню допустимой нагрузки на резервный канал.

Представленная в работе методика обоснования требований к оперативности реконфигурации узлов сети информационного обмена может быть использована при модернизации существующих и проектировании перспективных систем информационного обмена.

Список используемых источников

1. Новиков Е.А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 2 (69). – С.79–86.
2. Новиков Е.А., Макаренко С.И. Оперативное управление ресурсом АТМ-коммутатора при обеспечении заданного качества обслуживания нестационарных информационных потоков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2013. – № 1 (9). – С.43–52.
3. Новиков Е.А., Зиннуров С.Х. Модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры и алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов в земных станциях спутниковой связи // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 1. – С.98–115.
4. Новиков Е.А., Павлов А.Р., Зиннуров С.Х. Метод оперативного планирования частотно-временного ресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. – № 5. – С. 14–23.
5. Цветков К.Ю., Родионов А.В., Акмолдов А.Ф. Динамическое перераспределение пропускной способности коммутируемого спутникового моноканала при использовании протоколов множественного доступа // Информационно-управляющие системы. – 2006. – № 5. – С.47–50.
6. Топорков И.С., Ковальский А.А., Зиннуров С.Х. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании разнородного нестационарного трафика // Известия Института инженерной физики. – 2016. – Т. 1, № 39. – С. 37–47.
7. Косяков Е.Н., Квасов М.Н., Митряев Г.А. Модель обслуживания телетрафика в ненадежном спутниковом канале с учетом задержки подключения резерва // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: сб. III Всероссийской научно-практической конференции. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – С. 358–360.
8. Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание. – М.: Наука, 1997. – 205 с.
9. Levy H., Kleinrock L. A queue with starter and a queue with vocations: delay analysis by decomposition // Oper. Res. – 1986. – Vol. 34, № 3. – P. 426–436.
10. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний: пер. с англ. / под ред. И.Е. Морозовой. – М.: Наука, 1975. – 360 с.

11. *Романовский В.И.* Математическая статистика. – АН Уз. ССР. – Ташкент. – 1961. – 256 с.
12. *Бочаров П.П., Литвин В.Г.* Методы анализа и расчета систем массового обслуживания с распределением фазового типа // Автоматика и телемеханика. – 1986. – №5. – С.5–23.
13. *Хомоненко А.Д.* Распределение времени ожидания в системах массового обслуживания типа $GI_q/H_q/n/R_{\leq\infty}$ // Автоматика и телемеханика. – 1990. – №8. – С.91–98.

Г.Н. Мальцев,
доктор техн. наук, профессор;
Е.А. Сакулин,
кандидат техн. наук

АНАЛИЗ ОБЩЕГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ОРБИТ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Представлены результаты анализа общего решения задачи прогнозирования точности расчета орбит космических аппаратов на основе матричных дифференциальных уравнений. Показано, что его практическое использование для прогнозирования точности эфемерид навигационных космических аппаратов ограничивается необходимостью статистического описания погрешностей определения вектора состояния и не учитываемых в математической модели движения возмущающих сил. Исходя из общего аналитического решения для погрешности определения вектора состояния и апостериорных оценок качества навигационного поля системы ГЛОНАСС предложена частная математическая модель изменения точности эфемерид в виде дифференциальных уравнений состояния, которая может быть использована при планировании операций эфемеридно-временного обеспечения и управления навигационными космическими аппаратами. Прогнозируемыми параметрами являются эквивалентные погрешности псевдодальности за счет космического сегмента для каждого навигационного космического аппарата.

Ключевые слова: спутниковая навигация, прогнозирование орбит космических аппаратов, эфемериды, точность навигационных сигналов.

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) ГЛОНАСС предназначена для координатно-временного и навигационного обеспечения различных классов потребителей. Основным показателем функциональных возможностей ГНСС является точность определения местоположения потребителей [1, 2]. Программа ее повышения на современном этапе развития системы ГЛОНАСС определена Федеральной целевой программой «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» [3, 4]. Потенциальная точность конкретного навигационного определения потребителя определяется в том числе точностью эфемеридно-временной информации (ЭВИ), передаваемой навигационными космическими аппаратами (КА) в составе навигационных сигналов, которая, в свою очередь, определяется точностью расчета орбит КА по результатам измерений их текущих навигационных параметров (ТНП) средствами наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС. Прогнозирование точности расчета орбит позволяет планировать операции эфемеридно-временного обеспечения и управления навигационными КА с целью поддержания заданного уровня точности навигационных сигналов каждого КА и навигационного поля ГНСС в целом.

В настоящей статье проанализировано общее решение задачи прогнозирования точности расчета орбит КА для статистических характеристик анализируемых величин – погрешностей определения элементов вектора состояния КА на заданный момент времени, приведенное в работах [5, 6]. Особенностью данного решения является то, что для определения на заданный момент времени прогнозируемых статистических характеристик используются дифференциальные уравнения для корреляционной матрицы вектора элементов орбиты КА. Проведенный анализ полученного общего аналитического решения показывает возможность планирования операций эфемеридно-временного обеспечения ГНСС на основе частных моделей изменения точности эфемерид навигационных КА, согласованных с рассмотренным общим решением и основанных на апостериорных оценках качества навигационного поля ГНСС по экспериментальным данным.

Принцип спутниковой навигации заключается в определении потребителем своего местоположения (пространственных координат, составляющих вектора скорости движения и текущего времени) на основании измерения параметров принимаемых навигационных сигналов и обработки результатов измерений совместно с передаваемой в составе навигационного сигнала ЭВИ – предвычисленными значениями текущих координат (эфемерид) навигационных КА и временных поправок [1, 2]. Эфемериды навигационных КА рассчитываются по результатам измерений их ТНП средствами наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС с использованием математических моделей движения КА и обработки результатов измерений. Эфемериды однозначно связаны с параметрами орбит КА, поэтому решение задачи прогнозирования точности расчета орбит КА может быть положено в основу прогнозирования точности эфемерид, передаваемых навигационными КА потребителям, и планирования операций эфемеридно-временного обеспечения и управления навигационными КА.

Традиционный подход к прогнозированию орбит КА основан на составлении и решении уравнений движения [7, 8]. Для такого детерминированного подхода характерно допущение о том, что все действующие на КА силы известны и учитываются в правой части дифференциальных уравнений движения. Однако на практике не все действующие на КА возмущающие силы можно считать известными и можно учесть в уравнениях движения при их интегрировании. Это приводит к ошибкам прогнозирования орбит, которые могут быть учтены только при использовании статистических методов. Статистическими характеристиками являются и прогнозируемые параметры – среднеквадратические отклонения (СКО) погрешностей определения элементов вектора состояния КА на заданный момент времени. Подход к прогнозированию орбит КА, основанный на совместном использовании детерминированных математических моделей движения КА и обработки результатов измерений их ТНП и статистических (вероятностных) методов описания погрешностей определения параметров орбиты КА, и методика получения общего аналитического решения задачи прогнозирования точности расчета орбит КА по результатам измерений их ТНП изложены в работах [5, 6].

Практический интерес представляет анализ общего решения задачи прогнозирования точности расчета орбит КА с точки зрения его использования при прогнозировании точности эфемерид, передаваемых навигационными КА потребителям, и построения частных моделей изменения точности эфемерид навигационных КА. При этом в качестве показателя точности эфемерид навигационных КА целесообразно использовать значение параметра эквивалентной погрешности псевдодальности (ЭПД) за счет космического сегмента, являющегося стандартизованным показателем качества навигационных сигналов, передаваемых потребителям навигационными КА [9, 10]. Для ЭПД за счет космического сегмента формулируются соответствующие системные требования, а текущие значения ЭПД навигационных КА используются для характеристики текущего состояния системы ГЛОНАСС и формируемого ею навигационного поля.

Орбитальное движение КА для вектора состояния $q(t)$, соответствующего вектору элементов орбиты, может быть описано дифференциальным уравнением

$$\frac{dq(t)}{dt} = \mathbf{Z}(q, t) [F_0(t) + F(t)], \quad (1)$$

где $\mathbf{Z}(q, t)$ – матрица коэффициентов возмущающих сил в правых частях уравнений возмущенного движения КА;

$F_0(t)$ – вектор известных возмущающих сил, которые учитываются при прогнозировании орбиты;

$F(t)$ – вектор неучтенных при прогнозировании возмущающих сил.

Вектор элементов орбиты $q(t)$ определяется интегрированием дифференциальных уравнений вида (1). Здесь и далее используется матричная запись систем дифференциальных уравнений для составляющих векторов элементов орбиты КА и погрешностей их определения.

Используемые математические модели движения КА всегда учитывают конечное число известных возмущающих сил, действующих на орбитальное движение КА. Поэтому для прогнозирования орбит КА используются методы, основанные на интегрировании дифференциальных уравнений движения при известных внешних возмущающих силах

$$\frac{d\tilde{q}(t)}{dt} = \mathbf{Z}(\tilde{q}, t)F_0(t), \quad (2)$$

где $\tilde{q}(t)$ – вектор элементов орбиты, определяемый с учетом только известных внешних возмущающих сил. В дифференциальном уравнении (2) осуществлен переход от использования матрицы коэффициентов возмущающих сил $\mathbf{Z}(q, t)$, соответствующей учету всех возмущающих сил, описываемых векторами $F_0(t)$ и $F(t)$, к использованию матрицы $\mathbf{Z}(\tilde{q}, t)$, соответствующей учету только известных возмущающих сил, описываемых вектором $F_0(t)$. Орбита, задаваемая вектором параметров $\tilde{q}(t)$, определяемых с учетом только известных возмущающих сил, может рассматриваться в качестве опорной. Ошибки прогнозирования характеризуются вектором погрешностей, представляющим собой разность решений дифференциальных уравнений (1) и (2): $\Delta q(t) = q(t) - \tilde{q}(t)$. Возмущающие силы $F(t)$, которые не учитываются при интегрировании дифференциальных уравнений вида (2), в работах [5, 6] называются шумом системы. Такой шум не является белым и характеризуется корреляционной функцией, не являющейся δ -функцией.

На основе дифференциальных уравнений (1) и (2) в результате применения метода опорной орбиты и линеаризации исходных дифференциальных уравнений движения КА при допущении $|F_0(t)| \gg |F(t)|$ могут быть получены дифференциальные уравнения для погрешностей определения элементов орбиты КА:

$$\frac{d\Delta q(t)}{dt} = \mathbf{E}(\tilde{q}, t)\Delta q(t) + \mathbf{Z}(\tilde{q}, t)F(t), \quad (3)$$

где $\mathbf{E}(\tilde{q}, t) = \frac{\partial [\mathbf{Z}(\tilde{q}, t)F_0(t)]}{\partial \tilde{q}}$ – матрица частных производных правых частей дифференциального уравнения (2) по составляющим вектора $\tilde{q}(t)$. Вектор погрешностей определения элементов орбиты $\Delta q(t)$ определяется интегрированием дифференциальных уравнений вида (3).

Относительно не учитываемых в дифференциальных уравнениях движения КА воздействий возмущающих сил, описываемых составляющими вектора $\mathbf{F}(t)$, при прогнозировании точности расчета орбит КА полагается, что их можно считать гауссовским случайным процессом. Это обосновывается тем, что, с одной стороны, при прогнозировании может не учитываться целый ряд возмущающих факторов, а условия их совместного действия могут быть весьма разнообразны, с другой стороны, не учитываемые при прогнозировании возмущения имеют обычно одинаковый порядок и соизмеримы между собой. Это позволяет использовать центральную предельную теорему теории вероятностей и полагать, что значение возмущений в некоторый момент времени является случайной величиной, распределенной по нор-

мальному закону, и при дальнейшем анализе характеризовать действие возмущающих сил, описываемых вектором $F(t)$, корреляционной матрицей $\mathbf{K}_F(t, \tau) = M[F(t)F^T(\tau)]$.

Оценки погрешности определения вектора элементов орбиты КА $\Delta q(t)$ ищутся как результат их уточнения относительно опорной орбиты на временном интервале прогнозирования $[t_0, t]$ в условиях возмущений, описываемых случайными составляющими вектора $F(t)$. Общее аналитическое решение дифференциального уравнения (3) имеет вид

$$\Delta q(t) = \mathbf{G}(t, t_0)\Delta q(t_0) + \int_{t_0}^t \mathbf{G}(t, \tau)\mathbf{Z}(\tilde{q}, \tau)F(\tau)d\tau, \quad (4)$$

где $\mathbf{G}(t, t_0)$ – переходная матрица дифференциального уравнения (3).

При принятых допущениях статистические характеристики составляющих случайного вектора возмущающих сил $F(t)$ задаются в следующем виде: $M[F(t)] = 0$ – математическое ожидание, $\mathbf{K}_F(t, \tau) = M[F(t)F^T(\tau)]$ – корреляционная матрица. Также задается корреляционная матрица $\mathbf{K}_q(t_0) = M[\Delta q(t_0)\Delta q^T(t_0)]$ погрешностей определения вектора элементов орбиты КА в начальный момент времени t_0 . Тогда при прогнозировании вектора элементов орбиты КА на моменты времени t и τ матрица взаимной корреляции погрешностей $\mathbf{K}_q(t, \tau) = M[\Delta q(t)\Delta q^T(\tau)]$ определяется следующим выражением [5]:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_q(t, \tau) = & \mathbf{G}(t, t_0)\mathbf{K}_q(t_0)\mathbf{G}^T(\tau, t_0) + \\ & + \mathbf{G}(t, t_0) \int_{t_0}^{\tau} \mathbf{K}_{qF}(t_0, \tau_1)\mathbf{Z}^T(\tilde{q}, \tau_1)\mathbf{G}^T(\tau, \tau_1)d\tau_1 + \\ & + \left[\mathbf{G}(\tau, t_0) \int_{t_0}^t \mathbf{K}_{qF}(t_0, t_1)\mathbf{Z}^T(\tilde{q}, t_1)\mathbf{G}^T(t, t_1)dt_1 \right]^T + \\ & + \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau} \mathbf{G}(t, \tau_1)\mathbf{Z}(\tilde{q}, \tau_1)\mathbf{K}_F(t_1, \tau_1)\mathbf{Z}^T(\tilde{q}, t_1)\mathbf{G}^T(\tau, t_1)dt_1d\tau_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Входящая в выражение (5) матрица взаимной корреляции погрешности определения вектора элементов орбиты КА и вектора случайных составляющих возмущающих сил $\mathbf{K}_{qF}(t, \tau) = M[\Delta q(t)F^T(\tau)]$ для моментов времени t и τ определяется выражением

$$\mathbf{K}_{qF}(t, \tau) = \mathbf{G}(t, t_0)\mathbf{K}_{qF}(t_0, \tau) + \int_{t_0}^t \mathbf{G}(t, t_1)\mathbf{Z}(\tilde{q}, \tau)\mathbf{K}_F(t_1, \tau)dt_1. \quad (6)$$

Дифференцирование по t выражения (5) для матрицы взаимной корреляции погрешностей дает следующее дифференциальное уравнение:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{K}_q(t, \tau)}{\partial t} &= \mathbf{E}(\tilde{q}, t) \mathbf{G}(t, t_0) \mathbf{K}_q(t_0) \mathbf{G}^T(\tau, t_0) + \\
&+ \mathbf{E}(\tilde{q}, t) \mathbf{G}(t, t_0) \int_{t_0}^{\tau} \mathbf{K}_{qF}(t_0, \tau_1) \mathbf{Z}^T(\tilde{q}, \tau_1) \mathbf{G}^T(t, \tau_1) d\tau_1 + \\
&+ \left[\mathbf{G}(\tau, t_0) \mathbf{K}_{qF}(t_0, t) \mathbf{Z}^T(\tilde{q}, t) \right]^T + \\
&+ \mathbf{E}(\tilde{q}, t) \left[\mathbf{G}(\tau, t_0) \int_{t_0}^t \mathbf{K}_{qF}(t_0, t_1) \mathbf{Z}^T(\tilde{q}, t_1) \mathbf{G}^T(t, t_1) dt_1 \right]^T + \\
&+ \mathbf{Z}(\tilde{q}, t) \int_{t_0}^{\tau} \mathbf{K}_F(t, \tau_1) \mathbf{Z}^T(\tilde{q}, \tau_1) \mathbf{G}^T(\tau, \tau_1) d\tau_1 + \\
&+ \mathbf{E}(t) \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau} \mathbf{G}(t, t_1) \mathbf{Z}(t_1) \mathbf{K}_F(t_1, \tau_1) \mathbf{Z}^T(\tau_1) \mathbf{G}^T(\tau, \tau_1) dt_1 d\tau_1. \quad (7)
\end{aligned}$$

Сгруппировав в правой части выражения (7) слагаемые с общими множителями $\mathbf{E}(\tilde{q}, t)$ и $\mathbf{Z}(\tilde{q}, t)$ и учитывая выражения (5) и (6), получаем выражение для частной производной матрицы взаимной корреляции погрешностей по t :

$$\frac{\partial \mathbf{K}_q(t, \tau)}{\partial t} = \mathbf{E}(\tilde{q}, t) \mathbf{K}_q(t, \tau) + \mathbf{Z}(\tilde{q}, t) \mathbf{K}_{Fq}(t, \tau), \quad (8)$$

где $\mathbf{K}_{Fq}(t, \tau) = \mathbf{K}_{qF}^T(\tau, t)$. Аналогичным образом получают выражения для частной производной матрицы взаимной корреляции погрешностей по τ . Значит,

$$\frac{\partial \mathbf{K}_q(t, \tau)}{\partial \tau} = \mathbf{K}_q(t, \tau) \mathbf{E}^T(\tilde{q}, \tau) + \mathbf{K}_{qF}(t, \tau) \mathbf{Z}^T(\tilde{q}, \tau), \quad (9)$$

а также для частных производных матрицы взаимной корреляции погрешностей определения вектора элементов орбиты КА и вектора случайных составляющих возмущающих сил по t и по τ –

$$\frac{\mathbf{K}_{qF}(t, \tau)}{\partial t} = \mathbf{E}(\tilde{q}, t) \mathbf{K}_{Fq}(t, \tau) + \mathbf{Z}(\tilde{q}, t) \mathbf{K}_q(t, \tau), \quad (10)$$

$$\frac{\mathbf{K}_{qF}(t, \tau)}{\partial \tau} = \mathbf{K}_{qF}(t, \tau) \mathbf{E}^T(\tilde{q}, t) + \mathbf{K}_q(t, \tau) \mathbf{Z}^T(\tilde{q}, t). \quad (11)$$

В частном случае при $t = \tau$ дифференциальное уравнение для корреляционной матрицы погрешностей определения вектора элементов орбиты КА может быть получено на основе частных производных (8), (9) и соотношения

$$\frac{d\mathbf{K}_q(t)}{dt} = \left[\frac{\partial \mathbf{K}_q(t, \tau)}{\partial t} \right]_{\tau=t} + \left[\frac{\partial \mathbf{K}_q(t, \tau)}{\partial \tau} \right]_{t=\tau}. \quad (12)$$

Подстановка в выражение (12) частных производных (8) и (9) дает следующий результат:

$$\frac{d\mathbf{K}_q(t)}{dt} = \mathbf{E}(\tilde{q}, t) \mathbf{K}_q(t) + \mathbf{K}_q(t) \mathbf{E}^T(\tilde{q}, t) + \mathbf{Z}(\tilde{q}, t) \mathbf{K}_{Fq}(t, t) + \mathbf{K}_{qF}(t, t) \mathbf{Z}^T(\tilde{q}, t). \quad (13)$$

Входящие в выражение (13) матрицы взаимной корреляции погрешности определения вектора элементов орбиты КА и вектора случайных составляющих возмущающих сил $\mathbf{K}_{qF}(t, t)$ и $\mathbf{K}_{Fq}(t, t)$ определяются выражениями:

$$\mathbf{K}_{qF}(t, t) = \mathbf{G}(t, t_0)\mathbf{K}_{qF}(t_0, t) + \int_{t_0}^t \mathbf{G}(t, \tau)\mathbf{Z}(\tilde{q}, \tau)\mathbf{K}_F(\tau, t)d\tau, \quad (14)$$

$$\mathbf{K}_{Fq}(t, t) = \mathbf{K}_{Fq}(t, t_0)\mathbf{G}(t, t_0)^T + \int_{t_0}^t \mathbf{K}_F(t, \tau)\mathbf{Z}^T(\tilde{q}, \tau)\mathbf{G}^T(t, \tau)d\tau. \quad (15)$$

Таким образом, на основании общих выражений (5) и (6) получены дифференциальное уравнение (13) для корреляционной матрицы определения вектора элементов орбиты КА $\mathbf{K}_q(t)$, а также выражения (14) и (15) для входящих в дифференциальное уравнение (13) матриц взаимной корреляции погрешности определения вектора элементов орбиты КА и вектора случайных составляющих возмущающих сил $\mathbf{K}_{qF}(t, t)$ и $\mathbf{K}_{Fq}(t, t)$. Полученные выражения позволяют связать корреляционную матрицу определения вектора элементов орбиты КА в произвольной момент времени $\mathbf{K}_q(t)$ с корреляционной матрицей возмущающих сил $\mathbf{K}_F(t, \tau)$. При заданной корреляционной матрице погрешностей определения вектора элементов орбиты КА в начальный момент времени $\mathbf{K}_q(t_0)$ это позволяет решить задачу анализа точности прогнозирования орбиты КА в вероятностной постановке. При этом общее решение уравнения (13) имеет вид (5).

При заданных начальных условиях $\mathbf{K}_q(t_0)$ и $\mathbf{K}_{qF}(t_0, t) = \mathbf{K}_{Fq}^T(t, t_0)$ решение матричного уравнения (13) является единственным [5, 6], и составляющие корреляционной матрицы $\mathbf{K}_q(t) = M[\Delta q(t)\Delta q^T(t)]$, полученные в результате интегрирования уравнения (13), являются статистическими характеристиками погрешностей прогнозирования элементов орбиты КА для заданного момента времени t . Результат прогнозирования зависит от точности измерений ТНП КА, определяющей точность расчета начальных условий на момент времени t_0 , а также от точности математической модели движения КА, используемой при расчете элементов орбиты КА на заданный момент времени t . При переходе от прогнозирования точности расчета орбит навигационных КА к прогнозированию точности передаваемых ими эфемерид также появляется зависимость результата прогнозирования от характеристик бортовой аппаратуры конкретного навигационного КА, существенных для используемых в ГНСС беззапросных измерений [2, 11].

Следует отметить принципиальное значение статистического описания возмущающих сил, не учитываемых при описании движения КА, описываемых составляющими вектора $F(q, t)$, корреляционными матрицами $\mathbf{K}_F(t, \tau)$ и $\mathbf{K}_{Fq}(t, \tau)$, не являющимися δ -коррелированными. При представлении действия неучитываемых возмущающих сил как шума системы это означает, что этот шум отличается от белого шума и имеется корреляция его значений в различные моменты времени. Если же полагать шум системы белым, то при использовании δ -коррелированных корреляционных матриц $\mathbf{K}_F(t, \tau)$ и $\mathbf{K}_{Fq}(t, \tau)$ решение уравнения (4) имеет вид $\Delta q(t) = \mathbf{G}(t, t_0)\Delta q(t_0)$, что не соответствует физическому смыслу. В условиях наличия неучитываемых возмущающих сил погрешность определения вектора элементов орбиты КА в момент времени $t > t_0$ не может зависеть только от погрешности их определения в начальный момент времени t_0 , а должна увеличиваться вследствие наличия возмущающих сил, не учитываемых при прогнозировании. К неправильным результатам с

точки зрения точного решения дифференциального уравнения (13) приводит также пренебрежение матрицами взаимной корреляции $\mathbf{K}_{qF}(t_0, t) = \mathbf{K}_{Fq}^T(t, t_0)$, хотя это может быть использовано при решении задач долгосрочного прогнозирования орбит КА [12].

Таким образом, существует общее аналитическое решение задачи оценки точности прогнозирования параметров орбит КА, позволяющее получить статистические характеристики погрешностей определения параметров орбит КА для заданных начальных условий, математической модели движения КА и статистических характеристик действующих возмущающих сил, не учитываемых используемой математической моделью движения КА. При этом в качестве начальных условий выступают статистические характеристики погрешностей определения параметров орбит КА на начальный момент времени, и принципиальное значение имеет учет взаимной корреляции погрешностей определения элементов орбиты КА и неучитываемых возмущающих сил. Наличие рассмотренного решения задачи оценки точности прогнозирования параметров орбит КА позволяет осуществлять прогнозирование точности эфемерид, передаваемых потребителям навигационными КА, поскольку сама ЭВИ является результатом прогнозирования элементов орбит КА, представленным в виде геоцентрических координат и составляющих вектора скорости КА.

Основным показателем точности эфемерид, передаваемых потребителям навигационными КА, является ЭППД за счет космического сегмента, характеризуемая величиной СКО погрешности определения наклонной дальности до навигационного КА, обусловленной неточностью эфемерид, используемых при беззапросных измерениях псевдодальности [9, 10]. Исходя из этого при анализе и прогнозировании точности эфемерид навигационных КА необходимо рассматривать элементы корреляционной матрицы $\mathbf{K}_q(t)$, соответствующие трем геоцентрическим координатам x, y, z навигационного КА. Дисперсии их оценок $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ будут определять дисперсию погрешности определения радиуса-вектора пространственного положения навигационного КА

$$\sigma_r^2 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2}, \quad (16)$$

которая при переходе к СКО σ_r соответствует величине ЭППД за счет космического сегмента навигационного КА при расчете его эфемерид. С учетом выражения (16) полученные с использованием корреляционной матрицы $\mathbf{K}_q(t)$ дисперсии оценок координат $\sigma_x^2(t), \sigma_y^2(t), \sigma_z^2(t)$ будут определять величину СКО $\sigma_r(t)$, изменение которой во времени характеризует изменение во времени величины ЭППД за счет космического сегмента соответствующего навигационного КА.

Однако строгое аналитическое решение задачи прогнозирования точности эфемерид навигационных КА на основе рассмотренных матричных дифференциальных уравнений является весьма сложным. Погрешности определения вектора состояния КА при прогнозировании описываются системой неоднородных линейных дифференциальных уравнений, в которых возмущения описываются гауссовским случайным процессом, отличным от белого шума, с известными статистическими характеристиками. Это требует наличия априорных данных относительно корреляционной матрицы погрешностей вектора состояния в начальный момент времени $\mathbf{K}_q(t_0)$, вида и параметров корреляционной матрицы не учитываемых в математической модели движения КА возмущающих сил (шума системы) $\mathbf{K}_F(t, \tau)$ и матрицы взаимной корреляции погрешностей определения вектора состояния и возмущающих сил $\mathbf{K}_{Fq}(t, \tau)$. Такая информация может быть накоплена только по результатам апостериорной обработки результатов контроля навигационного поля ГНСС, а аналитическое решение задачи в значительной степени зависит от аналитического представления указанных корреляционных матриц. В работе [6] показано, что даже описание составляющих вектора

возмущающих сил достаточно простой корреляционной функцией $\mathbf{K}_F(t, \tau)$, линейно зависящей от $|t - \tau|$, приводит к сложной процедуре вычисления составляющих корреляционной матрицы погрешностей $\mathbf{K}_q(t)$ и матрицы взаимной корреляции $\mathbf{K}_{Fq}(t, \tau)$.

Поэтому рассмотренное аналитическое решение задачи прогнозирования точности эфемерид навигационных КА на основе матричных дифференциальных уравнений может быть рекомендовано для использования при решении задач апостериорной оценки точности ЭВИ системы ГЛОНАСС. А для прогнозирования точности эфемерид навигационных КА при планировании операций эфемеридно-временного обеспечения и управления навигационными КА целесообразно использовать более простые модели, согласованные с рассмотренным строгим решением задачи прогнозирования точности расчета параметров орбит КА и основанные на экспериментальных данных анализа качества навигационного поля системы ГЛОНАСС и навигационных сигналов отдельных навигационных КА. По таким экспериментальным данным могут быть построены аппроксимирующие зависимости изменения на интервале прогнозирования СКО погрешностей определения радиуса-вектора пространственного положения навигационного КА $\sigma_r(t)$, описывающих изменение во времени величины ЭППД за счет космического сегмента навигационных КА.

Анализ результатов математического моделирования изменения точности прогноза орбит навигационных КА и апостериорных оценок, характеризующих ЭППД за счет космического сегмента навигационных КА системы ГЛОНАСС по экспериментальным данным, приведенным в работах [6, 11, 13], показывает, что в качестве частной математической модели изменения точности эфемерид навигационных КА могут быть использованы дифференциальные уравнения для погрешности $\Delta q(t)$ определения вектора элементов орбиты КА

$$\frac{d\Delta q(t)}{dt} = \mathbf{P}(\tilde{q}, t)\Delta q(t), \quad (17)$$

где $\mathbf{P}(\tilde{q}, t)$ – матрица частных производных компонент векторной функции, описывающей движение КА по опорной орбите (аналог матрицы $\mathbf{E}(\tilde{q}, t)$). Совокупность уравнений вида (17) для всех навигационных КА представляет собой систему уравнений состояния, описывающих навигационное поле ГНСС с точностью до учета квадратичных форм и влияния возмущений на построение опорной орбиты. Общее решение дифференциального уравнения состояния (17) имеет следующий вид:

$$\Delta q(t) = \mathbf{G}_1(t, t_0)\Delta q(t_0), \quad (18)$$

где $\mathbf{G}_1(t, t_0)$ – переходная матрица дифференциального уравнения (17).

В выражении (18) характер изменения погрешности $\Delta q(t)$ определения вектора элементов орбиты КА определяется видом переходной матрицы $\mathbf{G}_1(t, t_0)$. Одним из методов определения переходной матрицы линейных систем дифференциальных уравнений является метод, основанный на использовании обратного преобразования Лапласа [14]. Переходная матрица дифференциального уравнения (17) определяется выражением

$$\mathbf{G}_1^T(t, t_0) = L^{-1} \left\{ [s\mathbf{I} - \mathbf{P}(\tilde{q}, t - t_0)]^{-1} \right\}, \quad (19)$$

где $L^{-1}\{\cdot\}$ – оператор обратного преобразования Лапласа;

s – параметр Лапласа;

\mathbf{I} – единичная матрица размерности, совпадающей с размерностью матрицы $\mathbf{P}(\tilde{q}, t)$, входящей в дифференциальные уравнения вида (17).

В общем случае оператор обратного преобразования Лапласа $L^{-1}\{\cdot\}$ и выражение вида (19) применимы для поиска переходных матриц как стационарных, так и нестационарных

динамических систем [14]. В тех случаях, когда требуется получить оценочный прогноз изменения линейной стационарной динамической системы, использование оператора обратного преобразования Лапласа для получения фундаментальной матрицы решений можно заменить приближенным соотношением. В рассматриваемом случае таким приближением является представление фундаментальной матрицы в виде $\mathbf{G}_1(t, t_0) \approx \mathbf{I} + \mathbf{P}(\tilde{q}, t - t_0)$, где \mathbf{I} – единичная матрица. Соответствующее приближенное решение для составляющих вектора отклонений $\Delta q(t)$ при $t \geq t_0$ будет иметь вид линейно возрастающих функций с начальными значениями, задаваемыми вектором $\Delta q(t_0)$ и некоторым углом наклона, зависящим от параметров используемых математических моделей движения КА и не учитываемых в модели движения возмущений орбиты.

Исходя из приближенного решения дифференциального уравнения состояния (17), для прогнозирования погрешности эфемерид навигационных КА может быть использовано линейное приближение изменения во времени СКО ЭППД за счет космического сегмента $\sigma_r^{(k)}$ для каждого навигационного КА:

$$\sigma_r^{(k)}(t) \approx \sigma_{r0}^{(k)} [1 + b_k(t - t_{0k})], \quad (20)$$

где $\sigma_{r0}^{(k)}$ – начальное СКО ЭППД за счет космического сегмента в момент времени $t=t_{0k}$;
 b_k – скорость роста параметра вектора отклонений;
 k – номер навигационного КА.

Если полагать, что начальным моментом времени $t = t_{0k}$ является момент передачи (закладки) на k -й навигационный КА и начала трансляции им потребителям обновленной ЭВИ, то зависимость вида (20) характеризует изменение во времени точности эфемерид k -го навигационного КА. Начальные условия для каждого КА обновляются в момент очередной передачи на него обновленной ЭВИ. Каждой закладке в соответствии с технологическим циклом эфемеридно-временного обеспечения ГНСС предшествует цикл измерений ТНП КА, при этом предполагается, что обработка результатов измерений обеспечивает потенциальную точность задания начальных условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ общего аналитического решения задачи прогнозирования точности эфемерид навигационных КА и апостериорных оценок качества навигационного поля системы ГЛОНАСС по экспериментальным данным показал, что в качестве частной математической модели изменения точности эфемерид навигационных КА при планировании операций эфемеридно-временного обеспечения и управления навигационными КА может быть использована модель в виде дифференциальных уравнений состояния вида (17). Она позволяет получать аппроксимирующие зависимости изменения на интервале прогнозирования СКО ЭППД за счет космического сегмента $\sigma_r^{(k)}(t)$ для каждого навигационного КА. Навигационное поле системы ГЛОНАСС характеризуется зависимостями $\sigma_r^{(k)}(t)$, $k=1,2,\dots,24$, представляющими описание изменения во времени точности эфемерид всех функционирующих в составе системы навигационных КА с учетом выполняемых операций эфемеридно-временного обеспечения и управления КА. При этом в рамках принятых допущений начальное СКО ЭППД за счет космического сегмента $\sigma_{r0}^{(k)}$ определяется точностью расчета начальных условий движения КА по результатам измерений их ТНП, а скорость роста параметра вектора отклонений b_k может быть индивидуальной для каждого навигационного КА влияния и уточняться по экспериментальным данным.

Список используемых источников

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др.; под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993 – 408 с.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Р.В. Бакитько, Е.Н. Болденков, Н.Т. Булавский и др.: под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
3. ГЛОНАСС – стратегический ресурс России / А.Ю. Данилюк, С.Г. Ревнивых, Н.А. Тестоедов и др. // Исследования Научограда. – 2013. – №2. – С.16–24.
4. *Райкунов Г.Г., Ступак Г.Г.* Развивающаяся система ГЛОНАСС и проблемные вопросы гарантированного координатно-временного и навигационного обеспечения // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2014. – №1. – С.13–21.
5. *Назаренко А.И., Маркова Л.Г.* Методы определения и прогнозирования орбит ИСЗ при наличии погрешностей в математическом описании движения // Прикладные задачи космической баллистики. – М.: Наука, 1973. – С.36–68.
6. *Назаренко А.И.* Погрешности прогнозирования движения спутников в гравитационном поле Земли. – М.: ИКИ РАН, 2010 – 226 с.
7. *Эльясберг П.Е.* Определение движения по результатам измерений. – М.: Наука, 1976. – 416 с.
8. *Иванов Н.М., Лысенко Л.Н.* Баллистика и навигация космических аппаратов. – М.: Дрофа, 2004. – 544 с.
9. ГОСТ Р 52928-2010. Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.
10. ГОСТ Р 54460-2011. Глобальные навигационные спутниковые системы. Система мониторинга и контроля целостности. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2012. – 8 с.
11. *Карутин С.Н., Власов И.Б., Дворкин В.В.* Дифференциальная коррекция и мониторинг глобальных навигационных спутниковых систем. – М.: Изд-во Московского университета. ГАЛЕРИЯ, 2014. – 464 с.
12. *Назаренко А.И., Скребушевский Б.С.* Эволюция и устойчивость спутниковых систем. – М.: Машиностроение, 1981. – 284 с.
13. Моделирование возмущений орбит космических аппаратов, высокоточный прогноз эфемерид спутников ГЛОНАСС и GPS / Е.А. Микрин, М.В. Михайлов, С.Н. Рожков и др. // Новости навигации. – 2014. – №3. – С.9–18.
14. *Иващенко Н.Н.* Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.

И.В. Бережной,
кандидат техн. наук;
А.И. Карин;
С.А. Карин,
кандидат военных наук, доцент

АЛГОРИТМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Определяются роль и место сетевых систем в процессах сбора, хранения и обработки разнородных геопространственных данных. Рассмотрены их основные особенности и достоинства. Предложена концептуальная модель единого информационного пространства объектов специального назначения. Приводятся ее основные характеристики, а также технология, обеспечивающая высокоэффективный информационный обмен между ее узлами.

Ключевые слова: сетевые системы, разнородные геопространственные данные, единое информационное пространство, распределенный банк геопространственных данных.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях в значительной степени возросли объемы и разнообразие данных (в том числе и пространственных данных), используемых при принятии различных управленческих решений. Состав информации, необходимой для принятия решений в частях и подразделениях МО РФ в процессе их деятельности, представляет собой многослойную структуру с постоянно увеличивающимся количеством слоев – видов используемых данных. Кроме данных о местности растет поток используемой в процессе принятия решений неструктурированной или слабоструктурированной информации, которую необходимо анализировать и учитывать. При этом основным видом обрабатываемых данных являются пространственные данные (геоданные). Можно утверждать, что до 80% информационных ресурсов имеют координатную привязку [1].

Под пространственными данными (геопространственными данными, географическими данными, геоданными) понимаются данные о географических объектах, которые являются формализованными цифровыми моделями материальных или идеальных (абстрактных) объектов реального или виртуального мира. Полное цифровое описание пространственного объекта (географического объекта, геобъекта) и содержание пространственных данных складываются из идентификатора объекта, набора его атрибутов (свойств, характеристик) с их значениями и параметров локализации объекта в пространстве и времени (в некоторой системе пространственно-временных координат). Уже сегодня объемы поступающих из различных источников пространственных данных настолько колоссальны, что противоречия, возникающие между возросшими потоками информации и имеющимися организационно-техническими возможностями по их сбору, обработке, поиску и использованию, обуславливают необходимость разработки новых методов организации этих процессов. Одним из перспективных методов обслуживания геоинформации является использование технологий ее обработки на базе концепции сетевых систем [2–4].

АНАЛИЗ РОЛИ, МЕСТА И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССАХ СБОРА, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Главной особенностью сетевых систем является сетевой принцип их построения, обеспечивающий максимальное расширение возможностей получения информации в

рамках предметной области, доступа к ней, ее распределения и обратной связи. При этом с технологической точки зрения сетевые системы предполагают наличие трех взаимосвязанных типовых элементов [5]:

- 1) информационных датчиков, обеспечивающих генерирование информации в зоне ответственности;
- 2) средств воздействия на внешнюю среду, которые обеспечивают непосредственное воздействие на контролируемые объекты в зоне ответственности;
- 3) информационно-управляющих средств, реализующих функции хранения и анализа информации, управления первыми двумя элементами, а также информирования лиц, принимающих решения.

Еще одним важнейшим отличием сетевой системы от систем других классов является то, что выход из строя одного или нескольких ее узлов не приводит к выходу из строя всей системы в целом. Таким образом, сетевые системы способствуют созданию Единого информационного пространства, устойчивого к внешним воздействиям, что, в свою очередь, позволяет повысить оперативность сбора и обработки специальной информации [5].

Проведенный анализ состава и структуры обрабатываемых геоданных показывает их высокую разнородность [1]. Вместе с тем существующая технология обработки геоданных в силовых министерствах и ведомствах во многом предполагает ручной режим работы, а также отсутствие единого информационного пространства. Все это, с учетом роста объемов добываемых геоданных, приводит к снижению оперативности их обработки.

Следовательно, существующая технология обработки геоданных обладает следующими недостатками:

- 1) в процессе обмена данными между органами управления не предполагается взаимодействие автоматизированных систем;
- 2) в процессе обмена данными между органами управления не предполагается децентрализация (все информационные потоки идут через центральные органы управления);
- 3) существует необходимость заполнения и подачи заявок в неавтоматизированном режиме для получения требуемой информации;
- 4) возникает необходимость длительного ожидания обработки поданных заявок и получения требуемой информации (не менее 2 суток).

Для устранения указанных недостатков необходимо создание технологии обработки пространственных данных, основанной на концепции сетевых систем и включающей в свой состав:

- 1) модель единого информационного пространства обработки геоданных на основе концепции сетевых систем;
- 2) требования к составу геоданных, обрабатываемых в рамках единого информационного пространства;
- 3) типовую структуру обрабатываемых геоданных;
- 4) модель поиска геоданных в системах специального назначения.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Требования к составу обрабатываемых геоданных зависят в первую очередь от задач соответствующих органов управления. Способы решения этих задач во многом определяются организационно-техническими условиями, которые внедрены в каждом из данных органов. В составе последних немаловажную роль играют способы организации информационного взаимодействия. В соответствии с этим была разработана концептуальная модель единого информационного пространства, представленная на рис. 1.

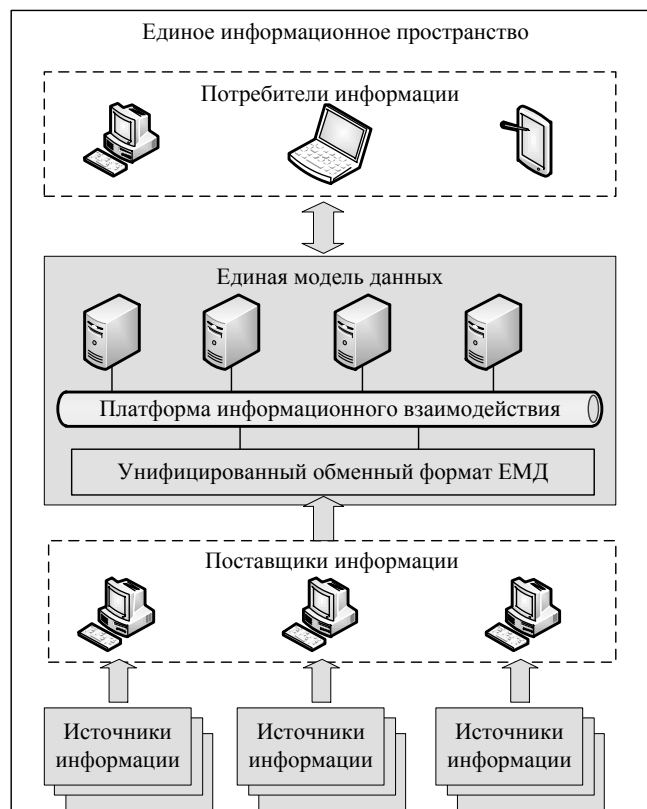


Рис.1. Концептуальная модель единого информационного пространства

Отличительной особенностью данной модели являются использование территориально-распределенного банка геопространственных данных и организация доступа к хранящимся в нем данным посредством унифицированной платформы информационного взаимодействия. При этом последняя играет роль связующего звена между узлами территориально-распределенного банка [1].

Информационное наполнение территориально-распределенного банка геопространственных данных зависит от состава и структуры хранящихся в нем геоданных. Соответственно, встает вопрос о разработке требований к ним.

На рис. 2 представлены требования по составу типового экземпляра геоданных, который адаптирован для хранения информации в территориально-распределенном банке (хранилище данных – ХД). В рамках таких требований структуру и состав метаданных предлагается реализовать с использованием ГОСТ Р 52573-2006 [6]. При этом к составу метаданных, обеспечиваемых указанным стандартом, необходимо добавить набор специфических метаданных, разбитых на две группы:

- 1) информация об объектовом составе;
- 2) информация специального назначения.

В состав первой группы должна входить информация об объектах управления (их перечень ведется в соответствующих органах управления), которые тем или иным образом связаны с описываемым экземпляром геоданных.

В состав второй группы должны входить сведения, обеспечивающие операции поиска геоданных в территориально-распределенном банке.

На рис. 3 представлена парадигма сетецентрического управления, раскрывающая состав и структуру метаданных (общих и специальных) [8].

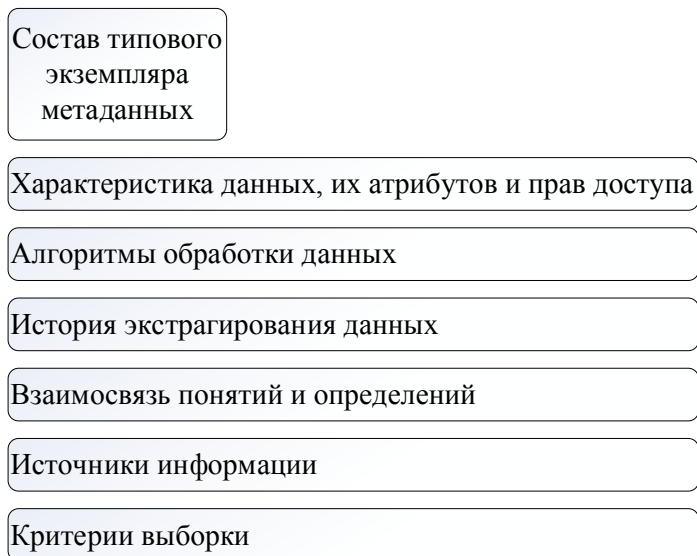


Рис. 2. Состав типового экземпляра геоданных, адаптированного для хранения в территориально-распределенном банке (хранилище данных)

В системе специального назначения кроме сведений, обеспечивающих операции поиска геоданных в территориально-распределенном банке (набор специфических метаданных), также должны входить:

- 1) дата последнего обновления геоданных по заданному запросу;
- 2) узел территориально-распределенного банка, где хранится исходный экземпляр геоданных;
- 3) права доступа в соответствии с политиками разграничения доступа.

Таким образом, указанные требования, с одной стороны, обеспечивают унификацию хранящихся геоданных, а с другой – служат основой для функционирования территориально-распределенного банка как основы сетецентрической системы.



Рис. 3. Парадигма сетецентрического управления

С учетом представленных требований был разработан алгоритм поиска геоданных в территориально-распределенном банке, который представлен на рис 4. Данный алгоритм реали-

зован в составе автоматизированной информационной системы сбора, обработки и анализа разнородных пространственных данных (АИС СОАРПД).

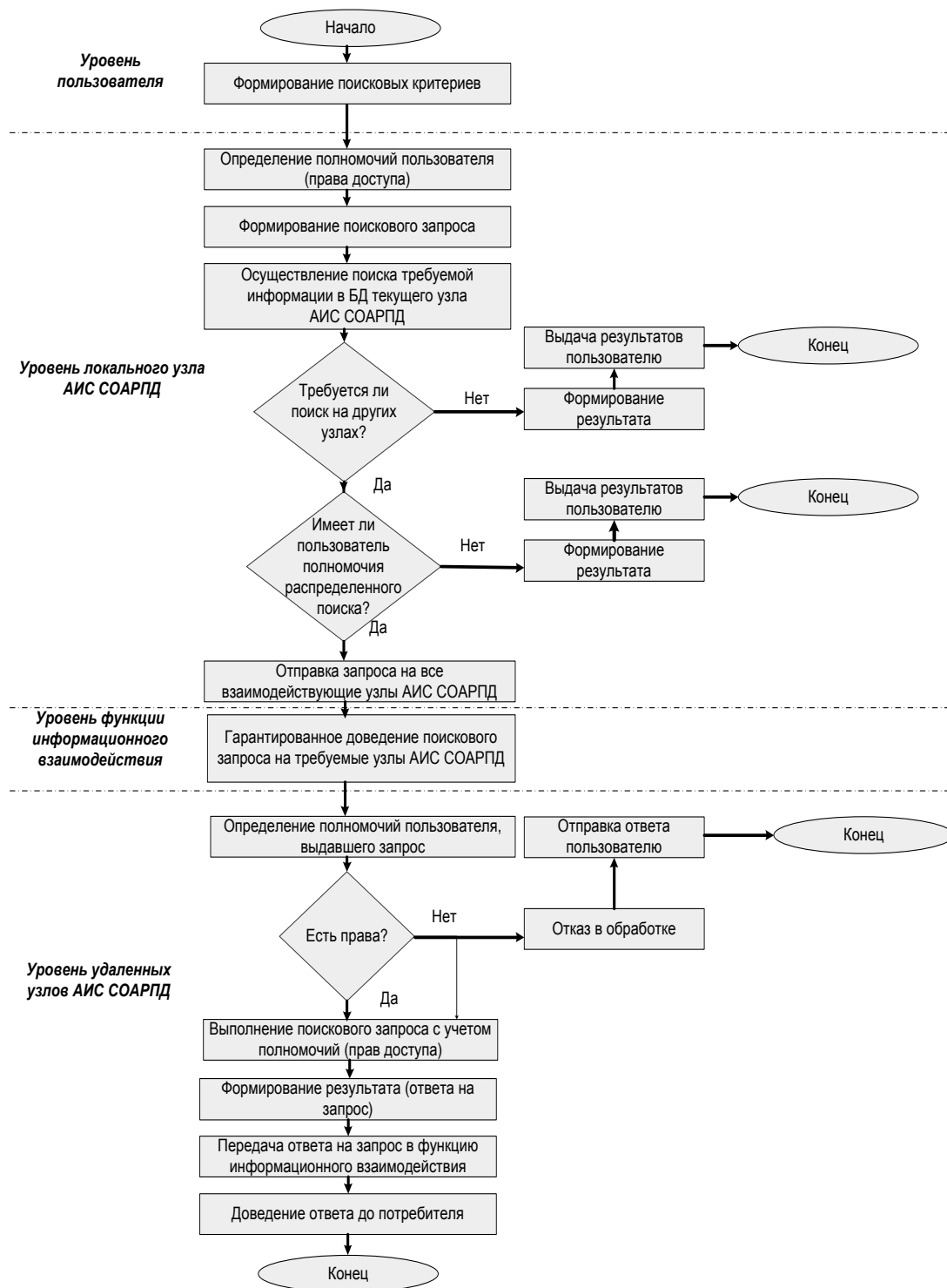


Рис. 4. Алгоритм поиска геоданных в территориально-распределенном банке

В данном алгоритме можно выделить четыре уровня процесса поиска необходимой информации:

- 1) формирования критериев отправки поискового запроса;
- 2) осуществления поиска требуемых геоданных в текущем узле территориально-распределенного банка;

3) обеспечения доставки поискового запроса на все узлы территориально-распределенного банка, функционирующие в рамках сетецентрической системы специального назначения;

4) обеспечения выполнения поисковых запросов на всех функционирующих узлах территориально-распределенного банка и отправки результатов потребителю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный состав геоданных, а также алгоритм поиска данных с использованием распределенного банка геопространственных данных предполагают снижение временных затрат на поиск информации в процессе разработки отчетных информационных документов и, в свою очередь, значительное сокращение времени, прошедшего с момента поступления данных в распределенную систему до момента непосредственного представления обработанных результатов.

Реализация разработанных подходов к организации предложенного распределенного банка геопространственных данных, а также модель поиска хранящейся в нем информации позволят повысить оперативность и обоснованность принятия требуемых управленческих решений в системах специального назначения, что особенно важно в случаях, когда оперативная доставка информации решает исход событий.

Список используемых источников

1. *Карин С.А.* Операционно-временная модель функционирования систем комплексной обработки геопространственных данных в условиях дефицита их ресурсов // Информационно-управляющие системы. – 2017. – №2. – С. 51–57.

2. *Карин С.А., Бережной И.В.* Технология обработки данных в сетецентрических системах сбора, обработки и анализа разнородной геопространственной информации // Естественные и технические науки. – М.: Спутник+, 2016. – №6. – С. 141–143.

3. *Ерёмченко Е.Н.* Неогеография: особенности и возможности // Материалы конференции «Неогеография XXI-2008» IX международного форума «Высокие технологии XXI века». Москва, 22–25 апреля. – 2008. – С.170.

4. *Ерёмченко Е.Н.* Неогеография и Situational Awareness // Материалы конференции «Неогеография XXI-2009» X международного форума «Высокие технологии XXI века». Москва, 21–24 апреля. – 2009. – С. 434–436.

5. *Карин С.А., Зелянин Р.А.* Разработка подходов к реализации распределенного банка геопространственных данных с учетом особенностей сетецентрических систем // Труды Военно-космической академии. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – Вып. 635. – С. 28–34.

6. ГОСТ Р 52573-2006. Географическая информация. Метаданные. – URL: www.docs.cntd/document/1200047520 (дата обращения: 11.09.2017).

7. *Карин С.А.* Инновационная платформа для создания специализированных приложений обработки пространственных данных // Труды Военно-космической академии. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – Вып. 645. – С. 28–34.

8. Парадигма сетецентрического управления и ее влияние на процессы управления войсками / В.А.Короленко, В.К.Синявский, С.И.Верещагин и др. – URL: www.agat.by/pres/statia_nauka-3.pdf (дата обращения: 12.09.2017).

А.С. Горянский;
А.А. Карытко,
кандидат техн. наук;
В.Я. Пророк,
доктор техн. наук, профессор

МЕТОДИКА РАНЖИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СБОРА ИНФОРМАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье предлагается решение научной задачи разработки научно-методического аппарата ранжирования космических объектов в сложных условиях космической обстановки в интересах планирования применения оптико-электронных средств мониторинга околоземного космического пространства. Ранг космического объекта рассчитывается с учетом его качественных и количественных характеристик. Функциональная зависимость ранга космического объекта от его характеристик и отождествляемых с ним событий околоземного космического пространства реализуется нечеткой нейронной сетью. Результатом выполнения процедуры ранжирования является введение на множестве планируемых космических объектов отношения порядка. Упорядочивание множества космических объектов позволяет формализовать и решить задачу квазиоптимального распределения ресурсов средств мониторинга околоземного космического пространства известными методами дискретной оптимизации.

Ключевые слова: космический объект, нечеткая искусственная нейронная сеть, система мониторинга околоземного космического пространства.

ВВЕДЕНИЕ

Результативность процесса функционирования оптико-электронных средств (ОЭС) мониторинга околоземного космического пространства (ОКП) определяется количеством обслуженных космических объектов (КО) и качеством полученной некоординатной информации о них. В свою очередь, указанные показатели зависят от степени соответствия результатов решения задачи планирования применения ОЭС текущим условиям космической обстановки и оптической видимости объектов наблюдения. Ключевой операцией, используемой при решении задачи планирования применения ОЭС, является операция сравнения КО. Объекты, наблюдаемые ОЭС мониторинга ОКП, характеризуются множеством качественных и количественных характеристик, имеющих различную физическую природу и в соответствии с этим – различную размерность. Таким образом, операция сравнения двух и более КО требует реализации достоверного, научно обоснованного отображения множества характеристик КО H на множество вещественных чисел, характеризующих ранг k -го КО $w_k: f(h_k) \rightarrow w_k$, где $h_k = \{h_1, \dots, h_n\}$, $h_i \in H$.

Представления отображения $f(h_k) \rightarrow w_k$ в аналитическом виде в контексте рассматриваемой задачи на сегодняшний день не существует. Имеющиеся методики реализуют отображение $f(h_k) \rightarrow w_k$ с использованием математического аппарата на основе методов экспертных оценок, метода нормировки либо методов мультипликативной (аддитивной) свертки. Использование указанной группы методов для реализации процедуры ранжирования КО обуславливает наличие в существующей методике планирования применения ОЭС мониторинга ОКП следующих недостатков:

1) отсутствует автоматизация процедуры планирования применения ОЭС в заданных условиях космической обстановки;

2) анализ результатов выполнения плана применения ОЭС не формализован и носит субъективный характер;

3) учет последствий результатов применения ОЭС в ходе выполнения очередной процедуры планирования применения ОЭС отсутствует.

Таким образом, в условиях, когда мощность множества ранжируемых КО [1] превышает десятки тысяч элементов, существующая организация процедуры ранжирования КО не позволяет реализовать адаптивное оптимальное планирование применения ОЭС мониторинга ОКП.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Декомпозиция задачи планирования применения ОЭС мониторинга ОКП на ряд частных задач и их взаимосвязь представлены на рис. 1.



Рис. 1. Структурно-логическая схема решения задачи планирования применения ОЭС мониторинга ОКП

В формализованном виде задача ранжирования КО в контексте решения задачи планирования применения ОЭС мониторинга ОКП может быть представлена в следующем виде:

$$r^* = \arg \max_{\pi \in G} (F(\pi[a, r])), \quad (1)$$

где $F(\pi[a, r])$ – целевая функция показателя эффективности процесса функционирования ОЭС мониторинга ОКП;

$\pi[a, r]$ – план задействования ОЭС мониторинга ОКП при использовании соответствующего алгоритма планирования a к ранжированному списку КО r ;

a – алгоритм планирования применения ОЭС мониторинга ОКП;

r – ранжированный список КО, состоящий из n элементов, значение i -го элемента r характеризует ранг i -го КО среди n объектов.

G – множество ограничений, накладываемых на процедуру планирования в заданных условиях космической обстановки.

В качестве значения целевой функции $F(\pi[a, r])$ выражения (1) в данной работе рассматривается суммарный ранг КО, обслуженных ОЭС мониторинга ОКП в ходе выполнения плана π . Результативность процесса функционирования ОЭС мониторинга ОКП в ходе выполнения плана π предлагается оценивать согласно следующему критерию:

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot r_i}{n} \right) \rightarrow \min ; \quad (2)$$

$$\begin{cases} k_i = 0, \text{ если } i\text{-й КО не обслужен;} \\ k_i = 1, \text{ если } i\text{-й КО обслужен.} \end{cases}$$

где k_i – бинарный коэффициент, характеризующий факт обслуживания i -го КО в ходе выполнения плана π ;
 r_i – ранг i -го КО, рассчитанный по предлагаемой методике;
 n – количество КО, участвующих в процедуре планирования применения ОЭС мониторинга ОКП.

РАНЖИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Рассматриваемая задача оценки ранга КО подобна классической задаче классификации (распознавания) образов. Наиболее распространенным и апробированным математическим аппаратом, применяемым для решения подобных задач на сегодняшний день, является математический аппарат нейронных сетей (НС). Вместе с тем применение классической НС для решения задачи ранжирования множества КО сопряжено со следующей проблемой. Процесс обучения НС предполагает наличие некоторой обучающей выборки. Соответственно, для реализации данной процедуры требуется множество R , включающее в качестве своих элементов пары значений (H_i, r_i) , где H_i – множество характеристик i -го КО, r_i – скаляр, характеризующий итоговый ранг i -го КО. Процесс формирования множества R с обязательным выполнением условия согласованности данных – сложная, трудоемкая процедура, что вызвано невозможностью охарактеризовать сложный многокритериальный объект одной численной величиной. Достоверное решение данной задачи можно обеспечить, предложив характеризовать КО как объект, способный принадлежать к трем классам – «важный», «средний», «неважный» – с определенной мерой принадлежности к каждому классу. Формализацию анализа результатов данной процедуры удобно проводить, воспользовавшись математическим аппаратом теории нечетких множеств. Подобный подход к решению задачи ранжирования КО требует введения соответствующей меры измерения для характеристик КО, в связи с чем для каждой характеристики КО, поступающей на вход НС, строится функция принадлежности текущего значения характеристики к одному из трех классов возможных значений C : «большое» – c_1 , «среднее» – c_2 , «небольшое» – c_3 .

Процесс функционирования нечеткой НС зависит от величины синаптических связей между нейронами, принадлежащих смежным слоям сети. С математической точки зрения процесс обучения сети заключается в поиске оптимального значения всех переменных весовых коэффициентов, характеризующих силу синаптической связи между нейронами в сети, обладающей заданной архитектурой, и обеспечивающих минимизацию ошибки результата ε генерируемого НС:

$$\varepsilon = \min(f(x) - y'), \quad f \in F, \quad (3)$$

где F – множество вариантов отображения аргумента НС x на множество значений функции f , реализуемой НС;
 x – n -мерная величина, характеризующая вектор исходных данных, обрабатываемых НС;
 y' – элемент обучающей выборки, используемой для обучения НС.

Рассматриваемая ниже модель обучения НС основана на использовании метода обратного распространения ошибки и модели обучения НС, представленной в работе [2]. Прекращение выполнения процедуры обучения НС происходит в момент начала ее стационарного режима работы, т.е. режима, при котором выполняются следующие условия:

$$\varepsilon_i \leq \varepsilon^*, \quad i \in \overline{k-n, k}; \quad (4)$$

$$k \leq k',$$

где ε_i – отклонение результата, выдаваемого нечеткой НС, от истинных значений варианта решения задачи;
 ε^* – предельно допустимая величина ошибки результата функционирования НС;
 n – итерация обучения НС, на которых условие (4) не выполняется;
 k, k' – итерации обучения НС и предельно допустимое количество итераций обучения соответственно.

Метод обратного распространения ошибки не гарантирует стопроцентное обучение сети на любых наборах исходных данных. При его использовании в ходе обучения сети возможно возникновение явления, получившего название паралич сети [3–5], а также попадание функции (3) в локальный минимум. В целях предотвращения возникновения указанных негативных эффектов в процедуре обучения сети предусмотрена специальная процедура случайного встряхивания значений ее параметров.

В качестве передаточной функции нейронов используется сигмоидальная функция

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}},$$

где α – безразмерный коэффициент, определяющий скорость обучения НС.

Коэффициент α является динамическим. В начале процедуры обучения максимальное значение коэффициента равняется 0,75. В случае остановки процесса обучения по критерию выполнения предельного числа итераций значение данного коэффициента составляет 0,1. Промежуточные значения α вычисляются как значения функции $\exp(as + b)$, где s – номер итерации обучения НС; a, b – аргументы функции, рассчитываемые методами регрессионного анализа с использованием начальных условий $\exp(a + b) = 0,75$, $\exp(ak' + b) = 0,1$.

Исходными данными, поступающими на вход НС, являются:

x_1 – время нахождения КО в зоне обзора ОЭС;
 x_2 – амплитуда блеска КО в ходе его проводки ОЭС;
 x_3 – фазовый угол освещенности КО Солнцем;
 x_4 – период изменения блеска КО в результате его вращения вокруг центра масс;
 x_5 – ранг КО, определенный совокупностью событий в околоземном космическом пространстве, отождествленных с КО;
 x_6 – среднее значение блеска КО.

Таким образом, входной слой рассматриваемой НС состоит из шести вершин, передаточная функция которых определяется функцией принадлежности значений x_1 – x_6 к центрам классов, определенных на множестве S .

Каждая вершина i первого слоя связана с вершинами последующего слоя, например j – дугами, обладающими весом w_{ij} . Первый слой реализует процедуру фазификации значений величин $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$. Последующий слой строится путем всевозможных паросочетаний нечетких выходов из каждой вершины первого слоя. Мощность второго слоя нейронной сети

составляет 729 вершин (комбинация трех выходов из шести доступных вершин первого слоя составляет 3^6).

Процедура ранжирования КО с использованием нечеткой НС состоит в последовательном выполнении следующих шагов.

Шаг 1. Формируется архитектура НС, представляемая в виде графа $G=(X, V)$, где X – множество вершин нейронной сети, V – множество связей между элементами множества X . Веса связей w_{ij} между нейронами сети инициализируются случайными значениями в интервале возможных значений от -0,5 до 0,5. Рассчитывается значение коэффициента w_{ij}^* :

$$w_{ij}^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_{ij}^2},$$

где n – количество вершин в i -м слое нечеткой НС.

Осуществляется переинициализация весов связей между нейронами смежных слоев:

$$w_{ij} = \frac{\beta \cdot w_{ij}}{w_{ij}^*},$$

где β – фактор масштабирования, рассчитываемый согласно выражению

$$\beta = 0,7 \cdot p^{\frac{1}{n}}.$$

Здесь p – количество нейронов, содержащихся во внутренних слоях НС;

n – количество нейронов сети.

Для каждой вершины НС случайным образом устанавливается величина смещения w_{0j} , $w_{0j} \in [-\beta, \beta]$.

Шаг 2. На вход НС подаются объекты обучающей выборки – вектор $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$, а также соответствующие эталоны результатов их обработки по принадлежности к классам множества C – вектор d .

Шаг 3. Выполняется процедура фаззификации первого слоя НС. Данная процедура заключается в определении меры принадлежности $\mu(x|c_j)$ характеристик КО $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ к классам, определенным на множестве C – $\mu(x|c_j), j \in \overline{1, |C|}$.

Под мерой принадлежности нечеткого множества подразумевается обобщение индикаторной функции классического множества. Реализация данной процедуры включает два этапа.

Первый этап – расчет центров классов V_{ij}^s элементов множества C для каждого признака КО:

$$V_{ij}^s = \frac{\sum_{x \in X_i} (\mu^s(x|c_j))^2 \cdot x}{\sum_{x \in X_i} (\mu^s(x|c_j))^2}, \quad \sum_{x \in X_i} (\mu^s(x|c_j))^2 \neq 0,$$

где s – номер итерации;

X_i – множество объектов обучающей выборки, характеризующей меру принадлежности значений i -й характеристики КО к элементам множества C .

Второй этап заключается в расчете значений функции принадлежности i -й характеристики КО на s -й итерации:

$$\mu^s(x|c_j) = \frac{1/(x-V_{ij})^2}{\sum_{j=1}^{|C|} (1/(x-V_{ij})^2)}, \text{ если } (x-V_{ij})^2 > 0; \quad (5)$$

$$\mu^s(x|c_j) = 1, \text{ если } (x-V_{ij})^2 = 0.$$

Оба этапа выполняются итерационно до тех пор, пока разница полученных значений центров классов не будет удовлетворять условию

$$|V_{ij}^s - V_{ij}^{s-1}|^2 \leq \varepsilon,$$

где ε – минимально допустимое различие значений центров классов, полученных на двух последовательных итерациях.

Выражение (5) позволяет определить меру принадлежности характеристики КО к элементам множества C в зависимости от ее количественного значения.

Результатом прохождения вектора характеристик КО x через первый слой сети является синтез второго слоя сети, активационная функция вершин которого имеет вид

$$y_{2k} = \min(\mu(x_i|c_j)), i \in \overline{1,6}, j \in \overline{1,3}, \quad (6)$$

где $\mu(x_i)$ – мера принадлежности i -й характеристики используемого в процедуре обучения объекта обучающей выборки к j -му элементу множества C .

Аргумент выражения (6) определяется значениями сигналов, распространяемых вершинами-родителями вершины k графа НС G .

Шаг 4. Каждый нейрон третьего и последующих слоев сети получает сигнал от всех нейронов предыдущего слоя, преобразует полученный сигнал в соответствии с активационной функцией и широковещательно транслирует его каждому нейрону последующего слоя. Аргумент активационной функции нейрона z_j рассчитывается согласно выражению

$$z_j = w_{0j} + \sum_{i=1}^n y_i \cdot w_{ij},$$

где n – количество нейронов в предыдущем слое сети.

На основе полученного значения аргумента z_j рассчитывается значение активационной функции нейрона $y_j = f(z_j)$.

Шаг 5. Осуществляется проверка условия продолжения обучения НС согласно критерию, определенному в выражении (4). Если критерий остановки выполняется, поток управления алгоритмом передается на шаг 9. Ошибка работы классификатора вычисляется на последнем слое нейронной сети согласно следующему выражению:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n |d_i - y_i|.$$

Шаг 6. Выполняется обратное распространение ошибки. Каждый нейрон выходного слоя получает целевое значение d_i и вычисляет величину ошибки σ_i :

$$\sigma_i = (d_i - y_i) \cdot f'(z_i),$$

где $f'(z_i) = f(z_i) \cdot (1 - f(z_i))$.

Рассчитывается величина корректировки веса связи Δw_{ji} , а также величина корректировки смещения Δw_{0j} :

$$\Delta w_{ji} = \alpha \cdot \sigma_i \cdot z_j; \quad \Delta w_{0j} = \alpha \cdot \sigma_i.$$

Величина σ_i отправляется нейронам предыдущего слоя.

Шаг 7. Каждый нейрон внутреннего слоя суммирует входящие от нейронов в последующем слое ошибки σ_j и вычисляет величину ошибки, умножая полученное значение на производную активационной функции:

$$\sigma_i = f'(z_i) \cdot \sum_{j=1}^n \sigma_j \cdot w_{ij}.$$

Вычисляется изменение весов связей между нейронами смежных слоев согласно выражениям:

$$\Delta w_{ji} = \alpha \cdot \sigma_i \cdot z_j; \quad \Delta w_{0i} = \alpha \cdot \sigma_i.$$

Шаг 8. Каждый нейрон изменяет веса своих связей с элементами смещения и нейронами предыдущего слоя:

$$w_{ji} = w_{ji} + \Delta w_{ji}$$

Шаг 9. Итоговый ранг КО рассчитывается с использованием выражения

$$r_i = |y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n| \times |c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n|^T,$$

где c_i – коэффициенты, характеризующие количественную меру соответствующих характеристик множества S .

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ

Автоматизация процедуры ранжирования КО выполнена путем разработки программного обеспечения, реализующего вышеописанный научно-методический аппарат средствами языка программирования C++. Фрагмент данных, определяющих функции принадлежности аргументов НС к элементам множества S , представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент значений функций принадлежности μ для аргументов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$

| x_1 | μ_1 | μ_2 | μ_3 | x_2 | μ_1 | μ_2 | μ_3 | x_3 | μ_1 | μ_2 | μ_3 |
|-------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|
| 10,00 | 0,92 | 0,06 | 0,02 | 1,80 | 0,00 | 0,11 | 0,89 | 0 | 0,00 | 0,04 | 0,96 |
| 50,00 | 0,80 | 0,15 | 0,05 | 2,13 | 0,01 | 0,11 | 0,88 | 9 | 0,03 | 0,05 | 0,95 |
| 100,0 | 0,70 | 0,22 | 0,08 | 2,46 | 0,02 | 0,10 | 0,88 | 18 | 0,15 | 0,10 | 0,75 |
| 122,1 | 0,68 | 0,23 | 0,09 | 2,79 | 0,04 | 0,10 | 0,86 | 27 | 0,15 | 0,31 | 0,54 |
| x_4 | μ_1 | μ_2 | μ_3 | x_5 | μ_1 | μ_2 | μ_3 | x_6 | μ_1 | μ_2 | μ_3 |
| 700 | 0,01 | 0,10 | 0,89 | 0,9 | 0,01 | 0,09 | 0,90 | 7,0 | 0,01 | 0,10 | 0,89 |
| 600 | 0,02 | 0,13 | 0,85 | 0,8 | 0,10 | 0,25 | 0,65 | 7,4 | 0,02 | 0,13 | 0,85 |
| 500 | 0,03 | 0,17 | 0,80 | 0,7 | 0,15 | 0,33 | 0,52 | 7,8 | 0,03 | 0,17 | 0,80 |
| 450 | 0,04 | 0,22 | 0,74 | 0,6 | 0,21 | 0,54 | 0,25 | 8,2 | 0,04 | 0,22 | 0,74 |

В табл. 1 каждая характеристика КО определяется четверкой значений $(x_i, \mu_1, \mu_2, \mu_3)$. Здесь x – величина характеристики, μ_i – мера принадлежности величины x к i -му объекту множества S . Обучающая выборка НС определена на множестве КО, характеризуемых вектором вида

$$o = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, c_1, c_2, c_3).$$

Фрагмент обучающей выборки нечеткой НС приведен в табл. 2.

Таблица 2

Фрагмент обучающей выборки нечеткой НС

| x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | μ_1 | μ_2 | μ_3 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 600 | 1,8 | 0 | 200 | 0,85 | 7,0 | 0,01 | 0,10 | 0,89 |
| 600 | 1,8 | 10 | 200 | 0,85 | 7,0 | 0,01 | 0,24 | 0,75 |
| 600 | 3,0 | 0 | 200 | 0,85 | 7,0 | 0,01 | 0,24 | 0,75 |
| 600 | 1,8 | 0 | 200 | 0,65 | 7,0 | 0,1 | 0,3 | 0,6 |
| 600 | 1,8 | 0 | 200 | 0,85 | 11,0 | 0,01 | 0,20 | 0,79 |
| 600 | 1,8 | 0 | 300 | 0,85 | 7,0 | 0,01 | 0,35 | 0,64 |
| 300 | 1,8 | 0 | 200 | 0,85 | 7,0 | 0,01 | 0,10 | 0,89 |

Эффективность использования предлагаемого научно-методического аппарата возможно оценить по нескольким показателям:

- 1) объему ресурсов вычислительной системы, необходимых для выполнения программы, реализующей алгоритм работы нечеткой НС;
- 2) значению ошибки обучения нечеткой НС;
- 3) времени выполнения процедуры обучения нечеткой НС.

Значения указанных показателей в ходе вычислительного эксперимента ограничивались следующими величинами: максимальный объем доступной оперативной памяти вычислительной системы – 4 Гб; максимальная ошибка обучения нечеткой НС – не более 10^{-3} ; время обучения НС – не более 20 мин. Очевидно, что время и качество обучения определяются размером НС, а также мощностью обучающей выборки.

Пример графика функции, показывающего зависимость ошибки функционирования нечеткой НС от числа выполненных итераций процедурой обучения, представлен на рис. 2.

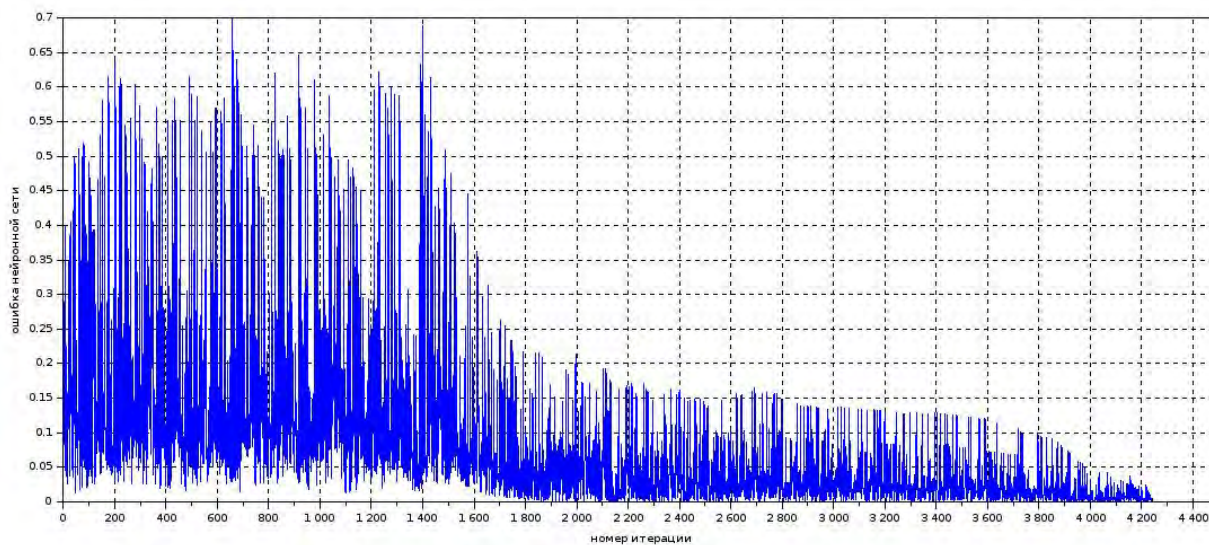


Рис. 2. Зависимость ошибки функционирования сети от числа итераций процедуры обучения

Средняя продолжительность выполнения процедуры обучения нечеткой НС, при использовании процессора Intel Core i5 (тактовая частота 2,6GHz), составила от 3 до 7 мин. Результаты функционирования НС на примере тестового множества КО из сорока элементов и их анализ показаны на рис.

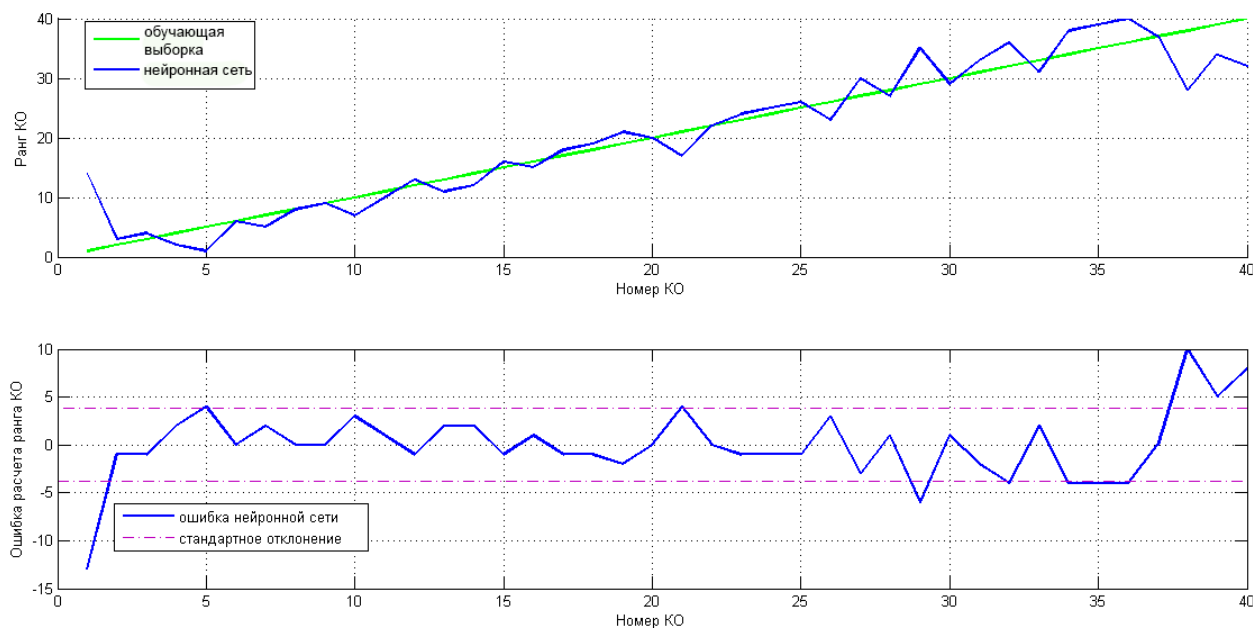


Рис. 3. Отклонение результатов решения задачи ранжирования КО НС от значений обучающей выборки НС

На основе анализа данных, представленных на рис. 3, можно сделать вывод о том, что использование нечеткой нейронной сети позволяет реализовать отображение $f(h_k) \rightarrow w_k$ с высокой степенью достоверности получаемых результатов – среднее квадратическое отклонение ошибки обучения НС составляет 3,92 пункта ранга КО. Таким образом, результаты, формируемые рассмотренным научно-методическим аппаратом, являются достоверными и могут быть использованы в ходе решения задачи планирования наблюдения КО ОЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанная методика учитывает в процедуре ранжирования КО, выполняемой в рамках решения задачи планирования применения ОЭС мониторинга ОКП, факторы, оказывающие влияние на условия оптической видимости КО и событий космической обстановки, ассоциированных с объектами наблюдения. Использование математического аппарата нечетких искусственных нейронных сетей позволяет учитывать последствие результатов применения ОЭС для наблюдения за КО в ходе выполнения очередной процедуры планирования применения ОЭС, подстраивать принципы ранжирования КО под динамично изменяющиеся условия космической обстановки.

Предложенная методика реализует комплексный подход к решению задачи ранжирования КО, обеспечивающий достижение требуемого уровня результативности процесса функционирования всей системы мониторинга ОКП в различных условиях космической обстановки. Достижение требуемого уровня результативности функционирования ОЭС мониторинга ОКП происходит за счет минимизации включения в план задействования ОЭС объектов, обладающих низкой вероятностью обслуживания, а также за счет сокращения периодичности контроля КО.

Проведенный в рамках исследования вычислительный эксперимент подтверждает практическую значимость методики, которая заключается в возможности ее интеграции в существующее программно-алгоритмическое обеспечение систем планирования сбора и обработки информации об объектах, обладающих характеристиками различной физической природы.

Список используемых источников

1. *Шилин В.Д., Олейников И.И.* Область контроля – околоземное пространство. Проблемы и перспективы развития СККП. – URL: <http://www.vko.ru/issues/2010/1> (дата обращения: 12.06.2017).
2. Алгоритм обучения многослойной нейронной сети методом обратного распространения ошибки. – URL: <http://www.habrhabr.ru/post/198268> (дата обращения: 12.06.2017).
3. *Тэрано Т., Асаи К., Сугено М.* Прикладные нечеткие системы. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
4. *Гилл Ф., Мюррей У., Райт М.* Практическая оптимизация: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с.
5. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

А.Н. Новиков,
кандидат техн. наук;
В.А. Смагин,
доктор техн. наук, профессор;
О.А. Ширямов

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН С ЗАДАННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

В статье рассмотрен элемент обеспечения единства измерений – метрологическая система передачи единицы величины. Показана проблема построения системы передачи единицы величины в условиях неопределенности информации о состояниях узлов, используемых при передаче единицы величины, связанная с возможностью перехода узлов в неработоспособное состояние вследствие воздействия различных внешних и внутренних факторов. Проведен анализ возможных методов решения задачи. Предложен алгоритм обхода графа, позволяющий найти маршрут с максимальной вероятностью передачи единицы величины от исходного эталона к рабочему средству измерения при ограничениях стоимости и времени самой передачи.

Ключевые слова: система передачи единицы величины, алгоритм обхода графа с ограничениями, неопределенность информации о состояниях узлов системы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вследствие научно-технического прогресса, связанного с усложнением технических систем и технологических процессов, увеличением объемов исследований, возникает необходимость точных измерений многочисленных и разнообразных физических величин.

Между тем, достижение и поддержание требуемого качества функционирования технических систем зависят не только от точности проводимых измерений, но и от мероприятий по обеспечению их единства. Важнейшим условием обеспечения единства измерений является соблюдение единообразия средств измерений, в основе которого лежит система передачи единиц величин (далее – ЕВ) [1].

Система передачи ЕВ, графическим отображением которой служат поверочные схемы, является многоуровневой материально-технической основой обеспечения единства измерений в стране. Каждый уровень системы передачи ЕВ занимают поверочные установки и эталоны, на основе которых осуществляются аттестация эталонов и поверка рабочих средств измерений, находящихся по точности измерений на нижестоящих уровнях.

Первичные эталоны передают ЕВ вторичным эталонам, которые являются менее точными. Вторичные эталоны, в свою очередь, передают ЕВ эталонам 1–4-го разряда, а те – рабочим средствам измерений.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИНЫ

В общем виде модель системы передачи ЕВ можно представить в виде связанного стохастического ациклического графа (рис. 1).

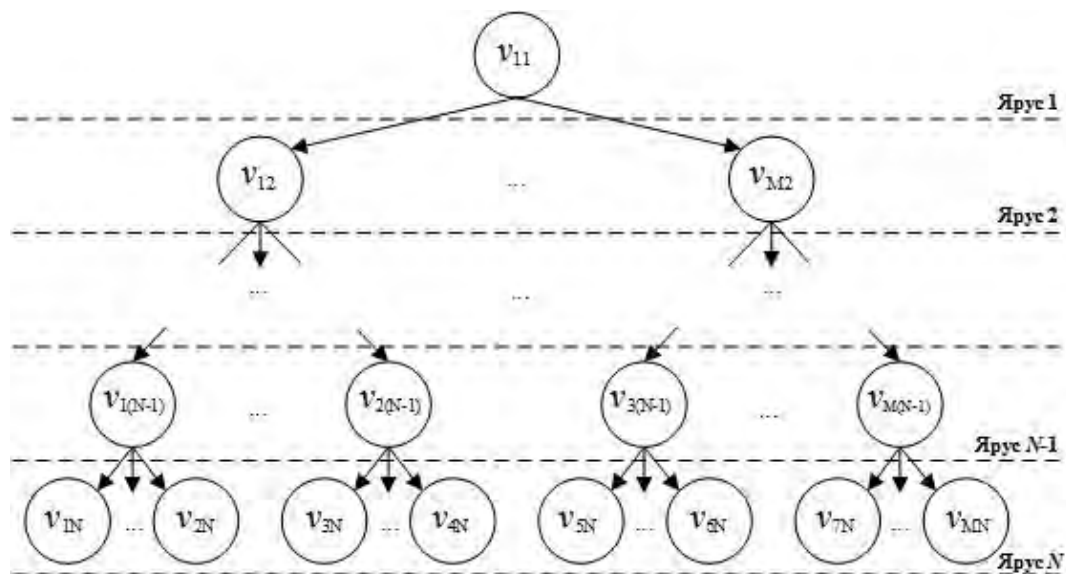


Рис. 1. Модель системы передачи ЕВ

В графе $G(V,E)$ множеству вершин $V=\{v_{ij}\}, i=\overline{1,N}; j=\overline{1,M}$ (где N – количество ярусов; M – количество вершин на i -м ярусе) соответствуют пункты, в которых непосредственно производится передача ЕВ. При этом каждому ярусу соответствует свой разряд средств измерений: ярусу 1 – исходный эталон, от яруса 2 до яруса $N-1$ – эталоны ЕВ 1–4-го разряда, а ярусу N – средства измерения военного назначения. Множество дуг графа $E=\{e_{ij}\}$ образует подчиненность пунктов и имеет вес, равный времени и стоимости доставки ЕВ между ними. Задача передачи ЕВ сводится к доставке ее значения от яруса 1 до яруса N .

К настоящему времени накопился достаточно большой объем теоретических исследований по различным вопросам, связанным с построением систем передачи ЕВ в отдельных видах измерений, как, например, в работах [2–5]. К сожалению, среди них отсутствуют работы по построению системы передачи ЕВ в условиях неопределенности информации о состояниях узлов, используемых при передаче ЕВ. Указанная неопределенность связана с возможностью перехода узлов в неработоспособное состояние в связи с воздействием различных внешних и внутренних факторов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Система передачи ЕВ является целенаправленным процессом, и ее эффективность будет определяться следующими свойствами [6]:

- оперативностью;
- ресурсоемкостью;
- результативностью.

Оперативность T характеризуется расходом операционного времени на передачу ЕВ и определяется весом дуг графа.

Ресурсоемкость C характеризуется расходом операционных ресурсов и определяется как сумма стоимости эксплуатации эталонов, т.е. стоимостей самого узла, и дуг графа. Если определить затраты на второе слагаемое не составляет труда, то для первого – это сделать сложно.

Однако в работе [7] авторы, используя функцию [8], предложили подход к определению функции стоимости эксплуатации средств измерений, применяемых для передачи ЕВ, на основе следующего выражения:

$$C(t) = \left(\sum_{i=1}^N F_i(t) \int_0^{c_i} x \cdot \bar{\mu}_i(x) dx + C_{\Pi} \right) \int_0^{\infty} \left(\left[\frac{z}{t} \right] + 1 \right) g(z) dz,$$

- где $F_i(t)$ – функция распределения процесса дрейфа в течение времени t каждой i -й эксплуатационно-технической характеристики средства измерений;
 $\bar{\mu}_i(x)$ – нормированная функция принадлежности $\mu_i(x)$ величины ущерба каждой i -й эксплуатационно-технической характеристике;
 C_{Π} – затраты на передачу ЕВ средством измерений;
 $g(x)$ – плотность распределения случайной величины ресурса средства измерения;
 N – количество эксплуатационно-технических характеристик средства измерений, применяемого для передачи ЕВ.

Результативность P характеризуется вероятностью передачи ЕВ от начального узла до конечного и определяется по формуле [9]

$$P(t) = \prod_{i=0}^{k-1} P_i(t),$$

- где $P_i(t)$ – вероятность работоспособности i -го узла в течение времени t , участвующего в передаче ЕВ;
 k – число узлов графа, участвующих в передаче ЕВ.

Таким образом, при определении вариантов структуры системы передачи ЕВ x^* в условиях возможного перехода узлов системы в неработоспособные состояния необходимо найти такой маршрут передачи ЕВ, который обеспечит максимальную результативность с учетом ограничений, наложенных на оперативность и ресурсоемкость:

$$x^* = \arg \max_{x \in \Delta_{\gamma}} P_{\text{пер}}(x, \Psi);$$

$$\Delta_{\gamma} = X \{ \Delta \mid T(x, \Psi) \leq T^{\Delta}, C(x, \Psi) \leq C^{\Delta} \},$$

- где $P_{\text{пер}}$ – вероятность передачи ЕВ от начального узла до конечного;
 Ψ – внешние и внутренние факторы;
 Δ – множество вариантов передачи ЕВ;
 Δ_{γ} – множество вариантов передачи ЕВ с учетом ограничений;
 T^{Δ} – допустимое время передачи ЕВ;
 C^{Δ} – допустимые затраты на передачу ЕВ.

Одним из способов решения поставленной задачи является применение методов обхода графа. Обходом графа называется перечисление его вершин. Как правило, обходы используют локальную информацию о структуре графа, т.е. из текущей вершины доступны только смежные с ней вершины [10].

В данном случае при обходе графа требуется найти маршрут передачи ЕВ с максимальной вероятностью передачи. При этом маршрут должен обладать дополнительными свойствами: стоимостью и временем на передачу ЕВ от исходного эталона к рабочему средству измерения. Можно рассматривать подобную задачу как задачу поиска маршрута с максимальной вероятностью передачи ЕВ с дополнительными ограничениями, но в ряде случаев это приводит к значительному увеличению вычислительных затрат. Другой подход состоит в том, чтобы найти некоторое множество маршрутов, обеспечивающих максимальную вероятность передачи ЕВ, и выбрать из них те, которые обладают необходимыми свойствами. Таким образом, задача обхода графа сводится к тому, что при первом обходе определяется маршрут передачи ЕВ с максимально возможной вероятностью и затем проверяется на соблюдение условий ограничений. Если ограничения не выполнены, текущий маршрут удаляется и производится повторный обход графа с целью определения следующего возможного маршрута. Цикл завершается, когда найден маршрут, удовлетворяющий ограничениям стоимости и времени на передачу ЕВ.

В настоящее время существуют различные способы обхода графа. Основными из них являются:

1. Алгоритмы поиска минимальных путей от одной вершины до остальных – алгоритм Форда [11] и алгоритм Дейкстра [12].
2. Алгоритм поиска минимальных путей, основанный на принципе динамического программирования – алгоритм Беллмана – Мура [13].
3. Алгоритм Данцига [14].
4. Алгоритм поиска минимальных путей между всеми парами вершин графа – алгоритм Флойда [15].
5. Алгоритмы нахождения k первых минимальных путей от заданной вершины до остальных вершин графа – алгоритм двойного поиска и алгоритм Йена [16].

К сожалению, приведенные алгоритмы не могут быть применены в своем виде для решения задачи, поставленной в работе. Так как не позволяют последовательно определять возможные маршруты передачи ЕВ от маршрута с максимальной вероятностью передачи к маршруту с меньшей вероятностью, проверяя их на ограничения. Поэтому предлагается использовать следующий модифицированный синтез алгоритмов Дейкстра и Йена.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИНЫ С ЗАДАНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Начало (Блок 1).

Определяются вершины исходного эталона $v_{\text{нач}}$ и средства измерения военного назначения $v_{\text{кон}}$. Вводятся значения ограничений на стоимость и время передачи ЕВ (Блок 2). Номер итерации $m = 0$ (Блок 3).

Шаг 1. Производится присвоение вершинам начальных меток. Назначается начальная вершина $v = v_{\text{нач}} = v_0$ (Блок 4). Номер итерации $i = 0$. Все вершины, кроме v , считаем неокрашенными.

Шаг 2. Увеличивается номер итерации: $i = i + 1$ (Блок 5). Если все вершины окрашены, производится переход на шаг 4 (Блок 6). Иначе для всех неокрашенных вершин u , смежных с вершиной v $\Gamma(v) = \{u \in V: (v, u) \in E\}$, пересчитываются метки вероятности передачи ЕВ вершины на текущей итерации $p_i(u)$ (Блок 7):

$$p_i(u) = \max \{p_{i-1}(u), p(v) \cdot p(u)\}.$$

Для остальных неокрашенных вершин полагаем $p_i(u) = p_{i-1}(u)$.

Шаг 3. Если для всех неокрашенных вершин u нет дальнейшего пути из вершины, производится переход на шаг 4 (Блок 8). Иначе выбирается новая текущая вершина v из неокрашенных из условия (Блок 9)

$$p_i(v) = \max \{p_i(u), u - \text{неокрашенные}\}.$$

Вершина окрашивается, и полагается, что $p(v) = p_i(v)$. Производится переход на шаг 2.

Шаг 4. Восстанавливается маршрут P^m с максимальной вероятностью передачи ЕВ (Блок 10). Маршрут восстанавливается от $v_{\text{кон}}$ к $v_{\text{нач}}$. Конечной вершиной назначается вершина v . Далее вершина x , предшествующая вершине v , определяется из соотношения

$$\frac{p(v)}{p_i(v)} = p(x).$$

Процесс заканчивается, когда $x = v_{\text{нач}}$. Для неокрашенных вершин маршрут из $v_{\text{нач}}$ не существует.

Шаг 5. Проверяются условия ограничений $C(P^m) \leq C^{\text{д}}$, $T(P^m) \leq T^{\text{д}}$. Если условия выполнены, то производится переход на шаг 7 (Блок 11).

Шаг 6. Рассматриваются дуги маршрута P^m от $v_{\text{кон}}$ к $v_{\text{нач}}$. Текущей вершиной назначается v , предшествующей – x . Дуга e_k , входящая в маршрут, удаляется, если полустепень захода для вершины x равна 1, а полустепень исхода для вершины v равна 0 или 1 (Блок 12):

$$e_k = (x, v) \text{ удаляется, если } \begin{cases} d^+(x) = 0 \vee 1; \\ d^-(v) = 1. \end{cases}$$

Осуществляется переход на шаг 1, $m = m + 1$ (Блок 13).

Шаг 7. Маршрут P^m обеспечивает передачу ЕВ с максимальной вероятностью при введенных стоимостных и временных ограничениях.

Конец (Блок 14).

Схема алгоритма изображена на рис. 2.

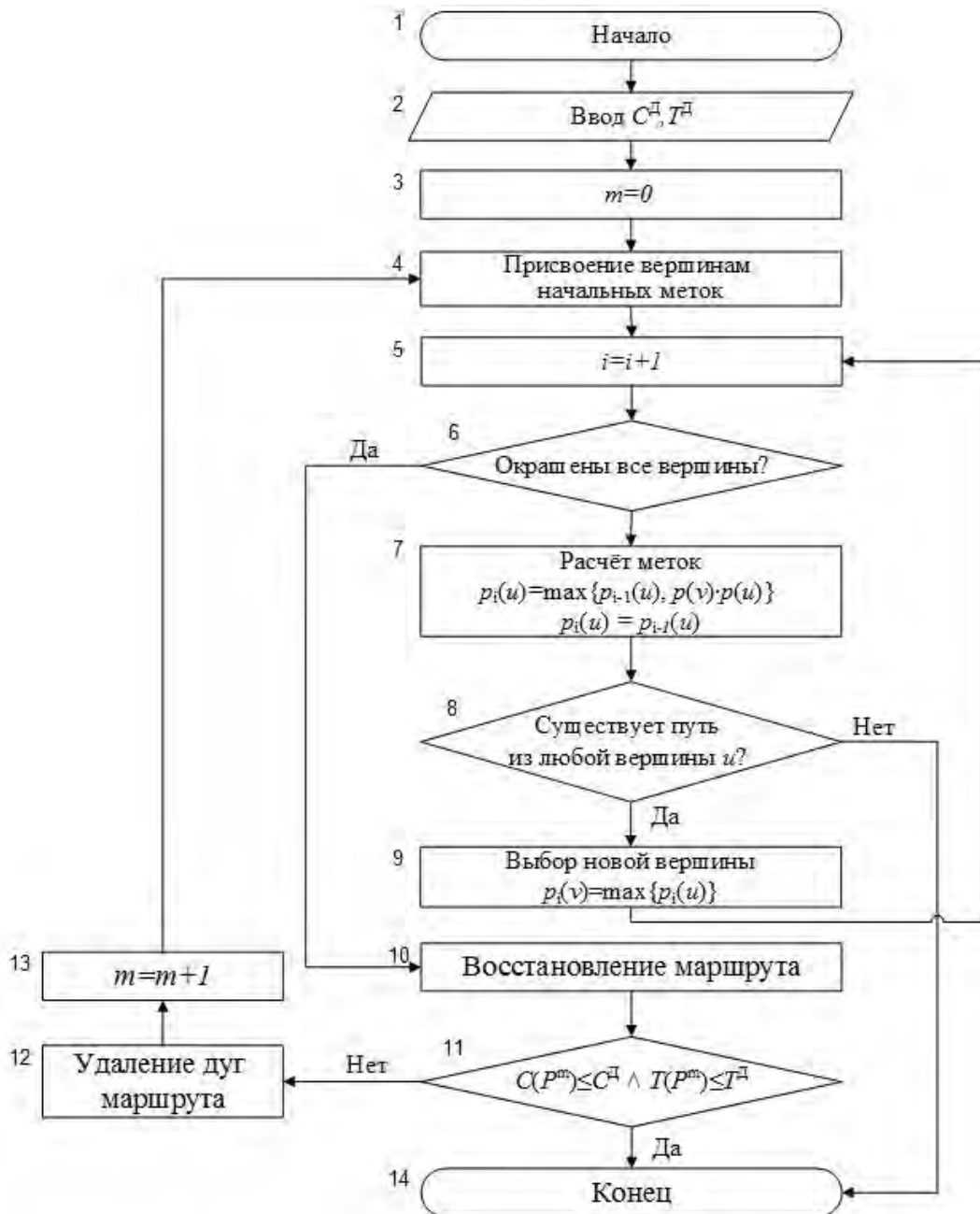


Рис. 2. Схема алгоритма определения вариантов структуры системы передачи ЕВ с заданными ограничениями

Пример. Рассмотрим систему передачи ЕВ, представленную на рис. 3. Предположим, что в результате воздействий вершина v_4 перешла в неработоспособное состояние, а у остальных узлов изменилась вероятность передачи ЕВ: $p(v_0) = 0,9$; $p(v_1) = 0,8$; $p(v_2) = 0,9$; $p(v_3) = 0,7$; $p(v_5) = 1$; $p(v_6) = 0,6$; $p(v_7) = 0,9$. Исходные данные стоимости и времени передачи ЕВ между узлами приведены в табл. 1 и 2 соответственно. Требуется найти возможные варианты передачи ЕВ от узла v_0 до узла v_9 по возможным маршрутам, показанным на рис. 4, с учетом ограничений $C^Д = 1000$ ед., $T^Д = 24$ ед.

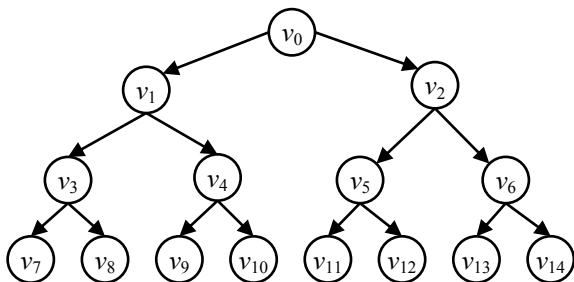


Рис. 3. Система передачи ЕВ

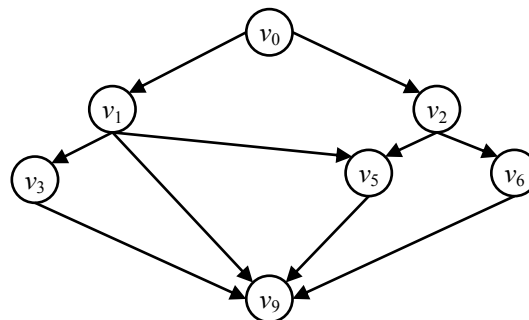


Рис. 4. Возможные маршруты передачи ЕВ

Таблица 1

Стоимость передачи ЕВ между вершинами

| | v_0 | v_1 | v_2 | v_3 | v_5 | v_6 | v_9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| v_0 | - | 150 | 280 | - | - | - | - |
| v_1 | - | - | - | 210 | 110 | - | 450 |
| v_2 | - | - | - | - | 150 | 200 | 180 |
| v_3 | - | - | - | - | - | - | 300 |
| v_4 | - | - | - | - | - | - | 250 |
| v_5 | - | - | - | - | - | - | 440 |

Таблица 2

Время передачи ЕВ между вершинами

| | v_0 | v_1 | v_2 | v_3 | v_5 | v_6 | v_9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| v_0 | - | 7 | 14 | - | - | - | - |
| v_1 | - | - | - | 9 | 6 | - | 10 |
| v_2 | - | - | - | - | 6 | 4 | 9 |
| v_3 | - | - | - | - | - | - | 8 |
| v_4 | - | - | - | - | - | - | 7 |
| v_5 | - | - | - | - | - | - | 11 |

Начало.

Номер итерации $m = 1$.

Шаг 1. Назначаем текущую вершину $v = v_0$. Номер итерации $i = 0$. Все вершины, кроме v_0 , считаем неокрашенными.

Шаг 2. Не все вершины окрашены, увеличиваем номер итерации: $i = 1$. Поскольку $\Gamma(v_0) = \{v_1, v_2\}$ и эти вершины не окрашены, проверяем их метки:

$$p_1(v_1) = \max\{p_0(v_1), (p(v_0) \cdot p(v_1))\} = \max\{0, 0,9 \cdot 0,8\} = 0,72;$$

$$p_1(v_2) = \max\{p_0(v_2), (p(v_0) \cdot p(v_2))\} = \max\{0, 0,9 \cdot 0,9\} = 0,81.$$

Для остальных неокрашенных вершин полагаем $p_1(u) = p_0(u)$. Текущее решение изображено на рис. 5. Окрашенные вершины обведены пунктирной линией, рядом с вершинами обозначены вероятности передачи ЕВ.

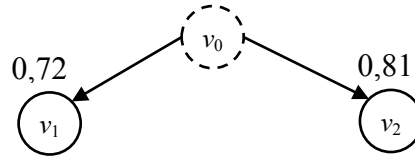


Рис. 5. Итерация $i = 1$

Шаг 3. Выбираем новую текущую вершину v_1 . Окрашиваем вершину, полагаем $p(v_1) = p_1(v_1)$ и идем на шаг 2.

Шаг 2. Не все вершины окрашены, увеличиваем номер итерации: $i = 2$. Поскольку $\Gamma(v_1) = \{v_3, v_5, v_9\}$ и эти вершины не окрашены, пересчитываем метки:

$$p_2(v_3) = \max\{p_1(v_3), (p(v_1) \cdot p(v_3))\} = 0,43;$$

$$p_2(v_5) = \max\{p_1(v_5), (p(v_1) \cdot p(v_5))\} = 0,72;$$

$$p_2(v_9) = \max\{p_1(v_9), (p(v_1) \cdot p(v_9))\} = 0,65.$$

Для остальных неокрашенных вершин полагаем $p_2(u) = p_1(u)$ (рис. 6).

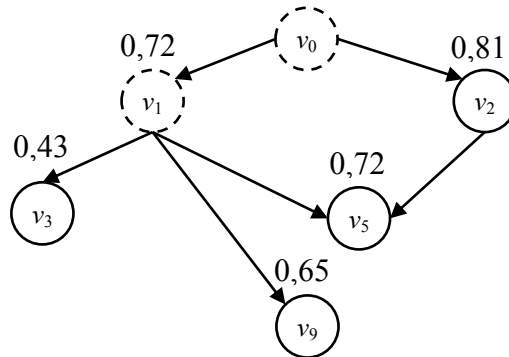


Рис. 6. Итерация $i = 2$

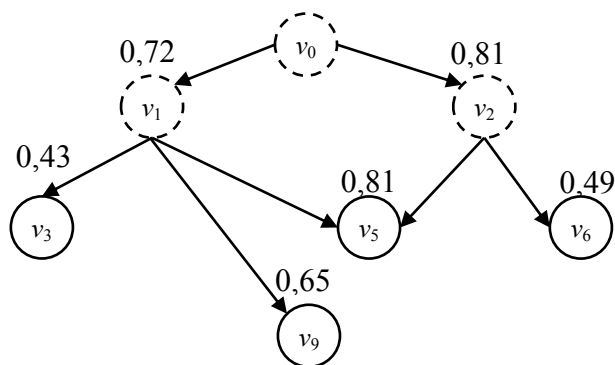
Шаг 3. Выбираем новую текущую вершину v_2 . Окрашиваем вершину, полагаем $p(v_2) = p_2(v_2)$ и переходим на шаг 2.

Шаг 2. Не все вершины окрашены, увеличиваем номер итерации: $i = 3$. Поскольку $\Gamma(v_2) = \{v_5, v_6\}$, пересчитываем метки:

$$p_3(v_5) = \max\{p_2(v_5), (p(v_2) \cdot p(v_5))\} = \max\{0,72, 0,81\} = 0,81;$$

$$p_3(v_6) = \max\{p_2(v_6), (p(v_2) \cdot p(v_6))\} = \max\{0, 0,49\} = 0,49.$$

Для остальных неокрашенных вершин полагаем $p_3(u) = p_2(u)$ (рис. 7).

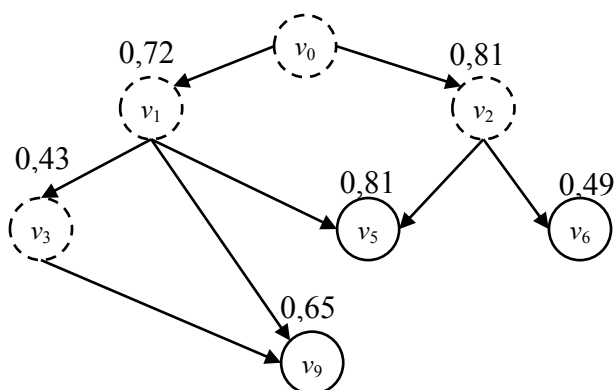
Рис. 7. Итерация $i = 3$

Шаг 3. Выбираем новую текущую вершину v_3 . Окрашиваем вершину v_3 , полагаем $p(v_3) = p_3(v_3)$ и переходим на шаг 2.

Шаг 2. Не все вершины окрашены, увеличиваем номер итерации: $i = 4$. Поскольку $\Gamma(v_3) = \{v_9\}$, пересчитываем метки:

$$p_4(v_9) = \max\{p_3(v_9), (p(v_3) \cdot p(v_9))\} = \max\{0,65, 0,39\} = 0,65.$$

Для остальных неокрашенных вершин полагаем $p_4(u) = p_3(u)$ (рис. 8).

Рис. 8. Итерация $i = 4$

Шаг 3. Выбираем новую текущую вершину v_5 . Окрашиваем вершину v_5 , полагаем $p(v_5) = p_4(v_5)$ и переходим на шаг 2.

Шаг 2. Не все вершины окрашены, увеличиваем номер итерации: $i = 5$. Поскольку $\Gamma(v_5) = \{v_9\}$, пересчитываем метки:

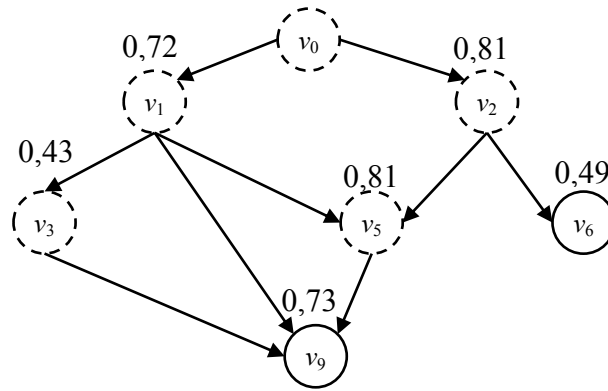
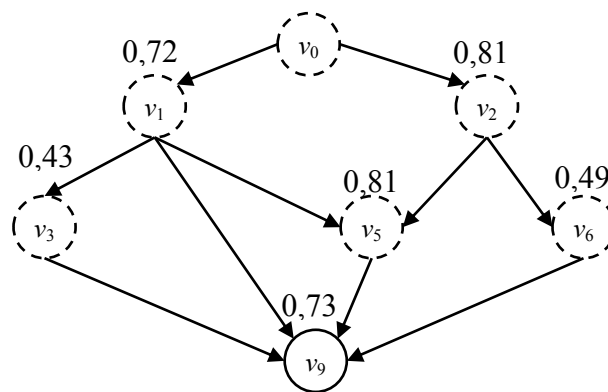
$$p_5(v_9) = \max\{p_4(v_9), (p(v_5) \cdot p(v_9))\} = \max\{0,65, 0,73\} = 0,73.$$

Для остальных неокрашенных вершин полагаем $p_5(u) = p_4(u)$ (рис. 9).

Шаг 3. Выбираем новую текущую вершину v_6 . Окрашиваем вершину v_6 , полагаем $p(v_6) = p_5(v_6)$ и переходим на шаг 2.

Шаг 2. Не все вершины окрашены, увеличиваем номер итерации: $i = 6$. Поскольку $\Gamma(v_6) = \{v_9\}$, пересчитываем метки:

$$p_6(v_9) = \max\{p_5(v_9), (p(v_6) \cdot p(v_9))\} = \max\{0,73, 0,44\} = 0,73.$$

Рис. 9. Итерация $i = 5$ Рис. 10. Итерация $i = 6$

Для остальных неокрашенных вершин полагаем $p_6(u) = p_5(u)$ (рис. 10).

Шаг 3. Выбираем новую текущую вершину v_9 . Окрашиваем вершину, полагаем $p(v_9) = p_6(v_9)$ и идем на шаг 2.

Шаг 2. Все вершины окрашены, увеличиваем номер итерации: $i = 7$. Переходим на шаг 4.

Шаг 4. Восстановим маршрут передачи ЕВ от вершины v_0 до v_9 . В ходе работы алгоритма найден маршрут $M^1 = \langle v_0, v_2, v_5, v_9 \rangle$.

Шаг 5. Проверяем условия ограничения: $C(M^1) = 610$ ед. $> C^D$, $T(M^1) = 25$ ед. $> T^D$. Условия не выполнены, осуществляется переход на шаг 6.

Шаг 6. Рассмотрим дуги маршрута P^1 от конца к началу:

– дуга $e(v_5, v_9)$, вершина v_4 имеет полустепень захода $d^+(v_5) = 2$, а вершина v_7 имеет полустепень исхода $d^-(v_9) = 0$, следовательно, дуга не удаляется;

– дуга $e(v_2, v_5)$, вершина v_2 имеет полустепень захода $d^+(v_2) = 1$, а вершина v_4 имеет полустепень исхода $d^-(v_5) = 0$, следовательно, дуга удаляется;

– дуга $e(v_0, v_2)$, вершина v_0 имеет полустепень захода $d^+(v_0) = 0$, а вершина v_2 имеет полустепень исхода $d^-(v_2) = 2$, следовательно, дуга не удаляется.

Переходим на шаг 1. Далее пропустим шаги 2, 3. Итерация $m = 2$.

Шаг 4. Восстановим маршрут передачи ЕВ от вершины v_0 до v_9 . В ходе работы алгоритма на итерации $m = 2$ найден маршрут $M^2 = \langle v_0, v_1, v_9 \rangle$.

Шаг 5. Проверяем условия ограничений: $C(M^2) = 600$ ед. $< C^D$, $T(M^2) = 17$ ед. $< T^D$. Условия выполнены.

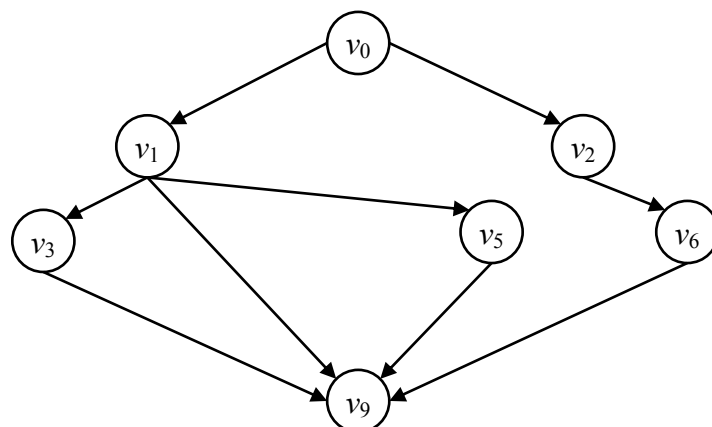


Рис. 11. Итерация $t = 1$

Таким образом, граф будет иметь вид, показанный на рис. 11.

Конец.

В результате работы алгоритма найден маршрут передачи ЕВ $M^2 = \langle v_0, v_1, v_9 \rangle$ со следующими параметрами: $P_{\text{пер}} = 0,65$, $C = 600$ ед., $T = 17$ ед.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение предложенного алгоритма позволяет определить варианты структуры системы передачи ЕВ от исходного эталона к рабочему средству измерений в условиях неопределенности информации о состояниях узлов системы и заданных ограничениях на стоимость и время передачи ЕВ. Также стоит отметить, что программная реализация алгоритма позволяет запоминать в отдельном массиве значения вероятности вершин маршрута передачи ЕВ M^m , что, в свою очередь, позволяет при очередной итерации t начинать обход графа не с начальной вершины, а с вершины, имеющей больше одной полустепени захода.

Список используемых источников

1. Сычев Е.И., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. Основы метрологии военной техники. – М.: Военное изд-во, 1993. – 400 с.
2. Балалаев В.А., Слаев В.А., Синяков А.И. Теория систем воспроизведения единиц и передачи их размеров. – СПб.: Профессионал, 2004. – 160 с.
3. Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В. О подходе к обоснованию рациональной номенклатуры эталонной базы измерительных комплексов на основе нечетких моделей // Вестник Российского нового университета. – 2017. – № 1. – С. 72–79.
4. Новиков А.Н., Нечай А.А., Малахов А.В. Математическая модель обоснования вариантов реконфигурации распределенной автоматизированной контрольно-измерительной системы // Вестник Российского нового университета. – 2016. – № 1-2. – С. 56–59.
5. Расчет показателя вероятности выполнения измерительной задачи информационно-измерительной системой с временной избыточностью / В.А. Смагин, Р.О. Лавров, А.В. Богданец, О.А. Ширямов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 98–107.
6. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. – М.: АСТ, 2006. – 504 с.

7. Метод функционально-стоимостного анализа эксплуатации средств измерений, испытания и контроля / Я.Н. Гусеница, А.В. Малахов, С.А. Шерстобитов, О.А. Ширямов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2017. – № 1. – С. 67–72.
8. Андронов А.М., Бокоев Т.Н. Оптимальное в смысле заполнения квантование информации // Известия АН СССР. – 1979. – № 3. – С. 154–158.
9. Дедиков Е.М., Никитин В.А., Солдатенко В.С. Техническая эксплуатация средств автоматизированных систем управления. – МО СССР, 1987. – 79 с.
10. Буркатовская Ю.Б. Теория графов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Ч. 1. – 200 с.
11. A faster algorithm to update betweenness centrality after node alteration / R.R. Singh, K. Goel, S.R.S Lyengar, S. Gupta // Internet mathematics. – 2015. – Vol. 11. – P. 403–420.
12. Chenguang X., Usman A. Khan Dextra: a fast algorithm for optimization over directed graphs // Transactions on Automatic Control. – 2017. – Vol. 62. – P. 34–38.
13. Jukna S., Schnitger G. On the optimality Bellman-Ford-Moore shortest Path algorithm // Theoretical computer science. – 2016. – Vol. 628. – P. 101–109.
14. Jeroslow R.G. The simplex algorithm with the pivot rule of maximizing criterion improvement // Discrete Mathematics. – 1973. – Vol. 4. – P. 367–377.
15. Aini A., Salehipour A. Speeding up the Floyd algorithm for the cycled shortest path problem // Applied mathematics letters. – 2012. – Vol. 25. – P. 5–9.
16. Ernesto Q.V. Martins, Marta M.B. Pascoal. A new implementation of Yen's algorithm // Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies. – 2003. – Vol. 1. – P. 121–133.

В.Е. Бессольцев;
П.Н. Марков;
К.В. Сазонов,
доктор техн. наук

УЯЗВИМОСТИ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ

В статье рассмотрены основные виды уязвимостей программного обеспечения веб-приложения, их классификация и принципы работы.

Ключевые слова: веб-приложение, межсайтовое исполнение кода, межсайтовая подделка запроса, активные методы анализа, пассивные методы анализа.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все крупные организации активно внедряют различные веб-приложения: электронные торговые площадки (Сбербанк-АСТ «Электронная площадка Сберегательного банка Российской Федерации», РТС-тендер, Электронная торгово-закупочная площадка ОАО «РЖД» и т.д.), порталы государственных услуг (Портал госуслуг Санкт-Петербурга, Единый портал государственных и муниципальных услуг), системы управления ресурсами предприятий – ERP системы (Microsoft Dynamics AX (Ахapta), SAP). Узкоспециализированные приложения все чаще заменяются своими веб-версиями (Личный кабинет Министерства обороны), и облачными сервисами, для использования которых необходим только веб-обозреватель требуемой версии.

Именно появление носимой электроники, способной выходить в сеть Интернет, дало мощный толчок к развитию веб-приложений. В частности, средства персонального радиовызова (сотовые телефоны – смартфоны, другие устройства) практически бесполезны без доступа к сети Интернет, так как большинство данных синхронизируются с облачными сервисами, сохраняя там фотографии, логины и пароли, вследствие чего уязвимости веб-приложений стали активно исследоваться на предмет получения информационного доступа посредством атак. В свою очередь, уязвимости веб-приложений могут привести к крупным проблемам как для коммерческого сектора, так и для государственных организаций, к примеру:

– 14 августа 2014 года пресс-служба правительства сообщила о взломе микроблога *Twitter* российского премьера Дмитрия Медведева;

– 10 июля 2014 года газета *New York Times* со ссылкой на высокопоставленных американских чиновников сообщила, что китайские хакеры в марте провели крупную атаку на хранилища Управления кадровой службы США и завладели информацией о федеральных служащих, которые обращались в государственные структуры за предоставлением секретной информации;

– 7 августа 2013 года были взломаны неосновные аккаунты РИА Новости – Международного мультимедийного пресс-центра и *RIA Novosti Deutsch*. Хакеры разместили в аккаунтах ложную информацию о смерти президента СССР Михаила Горбачёва.

По данным открытого проекта «Обеспечение безопасности веб-приложений (OWASP)», в период с 2013 по 2017 год произошло незначительное изменение рейтинга уязвимостей, существенную часть из которых составляют уязвимости интерфейса пользователя веб-приложения (табл. 1), за 2017 год: А2 Некорректная аутентификация и управление сессией

(частично), А3 межсайтовое выполнение скриптов, А8 Подделка межсайтовых запросов, А9 Использование компонентов с известными уязвимостями [1].

Таблица 1

Рейтинг уязвимостей веб-приложений

| 2013 год | 2017 год |
|---|--|
| А1 Внедрение кода | А1 Внедрение кода |
| А2 Некорректная аутентификация и управление сессией | А2 Некорректная аутентификация и управление сессией |
| А3 Межсайтовое выполнение скриптов | А3 Межсайтовое выполнение скриптов |
| А4 Небезопасные прямые ссылки на объекты | А4 Нарушение контроля доступа |
| А5 Небезопасная конфигурация | А5 Небезопасная конфигурация |
| А6 Утечка чувствительных данных | А6 Утечка чувствительных данных |
| А7 Отсутствие контроля доступа к функциональному уровню | А7 Недостаточная защита от атак |
| А8 Подделка межсайтовых запросов | А8 Подделка межсайтовых запросов |
| А9 Использование компонентов с известными уязвимостями | А9 Использование компонентов с известными уязвимостями |
| А10 Несанкционированное перенаправление на другие ресурсы | А10 Незащищенный API |

Таким образом, для предотвращения утечки конфиденциальной информации особое внимание необходимо уделить вопросам безопасности интерфейса пользователя веб-приложения. *Веб-приложение* – это клиент-серверное приложение, в котором клиентом выступает веб-обозреватель, а в роли сервера – веб-сервер. Рассматриваемая схема работы веб-приложения показана на рис. 1 [2]. Рассмотрим схему работы веб-приложения.

1. Пользователь, используя веб-обозреватель, производит запрос необходимого веб-ресурса, согласно представлению на рис. 2.

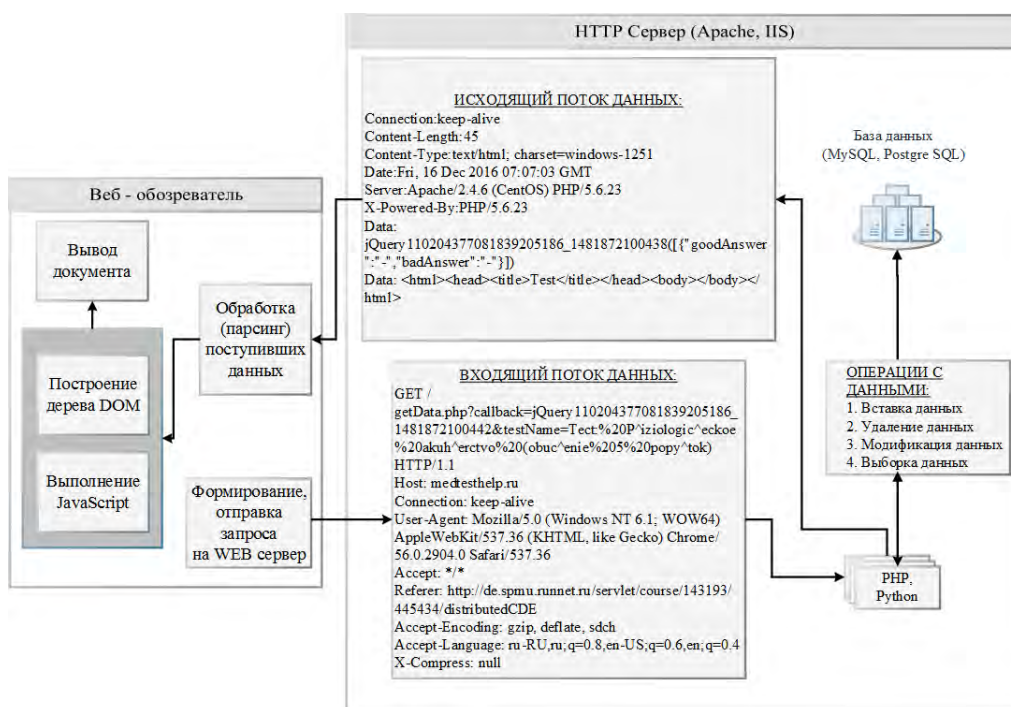


Рис. 1. Рассматриваемая схема работы веб-приложения



Рис. 2. Ввод доменного имени требуемого веб-ресурса

По окончании ввода доменного имени происходит отправка запроса на сервер, следующей формы:

```
GET / HTTP/1.1
Host: google.com
Connection: close
[другие заголовки и передаваемые параметры].
```

2. Веб-сервер получает запрос от веб-браузера, обрабатывает его и находит контент, который соответствует запросу.

3. Далее веб-сервер разбирает файл с помощью обработчика. Если веб-сервер работает на PHP, то используется PHP для интерпретации и направления результата веб-обозревателю.

Использование веб-приложений имеет ряд очевидных преимуществ:

- исполнение в любых операционных системах: *Microsoft Windows, Mac OS, Linux* (с предварительной установкой рекомендованного веб-обозревателя) [3];
- легкая обновляемость приложений;
- требуемая для работы «простая» конфигурация аппаратной платформы;
- обеспечение высокой мобильности.

Но наряду с достоинствами существуют значительные недостатки:

- трудность реализации некоторых задач в веб-приложениях;
- утечка данных за счет уязвимостей веб-приложений.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА АТАК НА XSS/CSS УЯЗВИМОСТЬ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ВЕБ-ОБОЗРЕВАТЕЛЯ

В статье рассмотрены основные виды уязвимостей интерфейса пользователя веб-приложения (посредством обзора основных видов атак на интерфейс пользователя веб-приложения), их классификация представлена на рис. 3 [4].

Атака на интерфейс пользователя веб-приложения – это действия, направленные на получение необходимой информации (cookies файлов, активной сессии и др.) от веб-обозревателя пользователя, либо совершение каких-либо действий (оплата услуг, перевод денежных средств и др.) от имени пользователя [5].

Можно выделить два основных вида атаки на интерфейс пользователя веб-приложения:

- XSS/CSS атака (cross-site scripting) – межсайтовое выполнение скриптов, изначально не предусмотренное разработчиками программного обеспечения;
- XSRF/CSRF атака – межсайтовая подделка запроса.

Внедрение исполняемого кода в пользовательский интерфейс – эффективный способ кражи данных, способный привести к перехвату управления веб-приложением, в результате этого возможно размещение недостоверной информации, вывод из строя управляемого через веб-приложение оборудования, хищение денежных средств, кража сведений составляющих государственную, военную тайну. По принципу внедрения исполняемого кода атаки типа XSS/CSS можно подразделить на пассивные и активные.

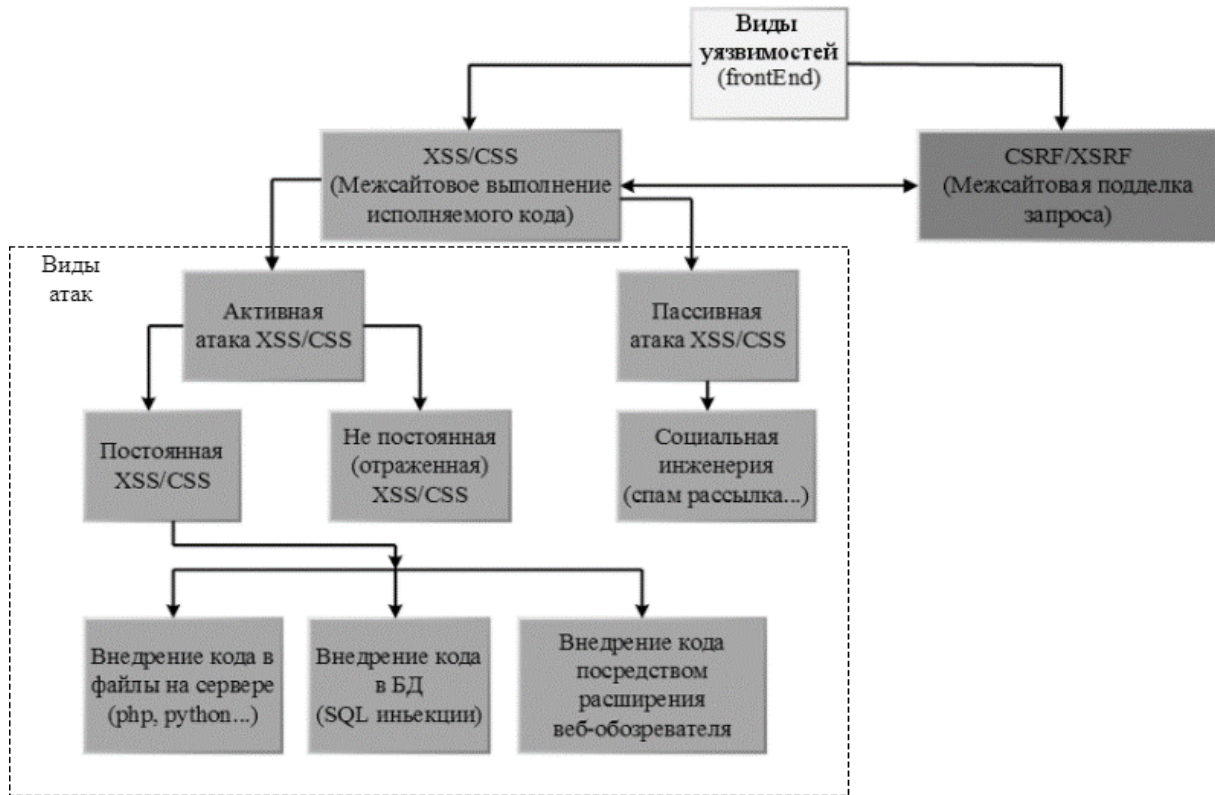


Рис. 3. Основные виды уязвимостей на интерфейсе пользователя веб-приложения

Пассивная атака XSS/CSS. Пассивная атака основана на непосредственном взаимодействии с пользователем веб-приложения и, как правило, требует от него перехода по заранее сформированной «инфицированной» ссылке. На рис. 4 представлен алгоритм работы пассивной атаки на интерфейс пользователя веб-приложения [6].

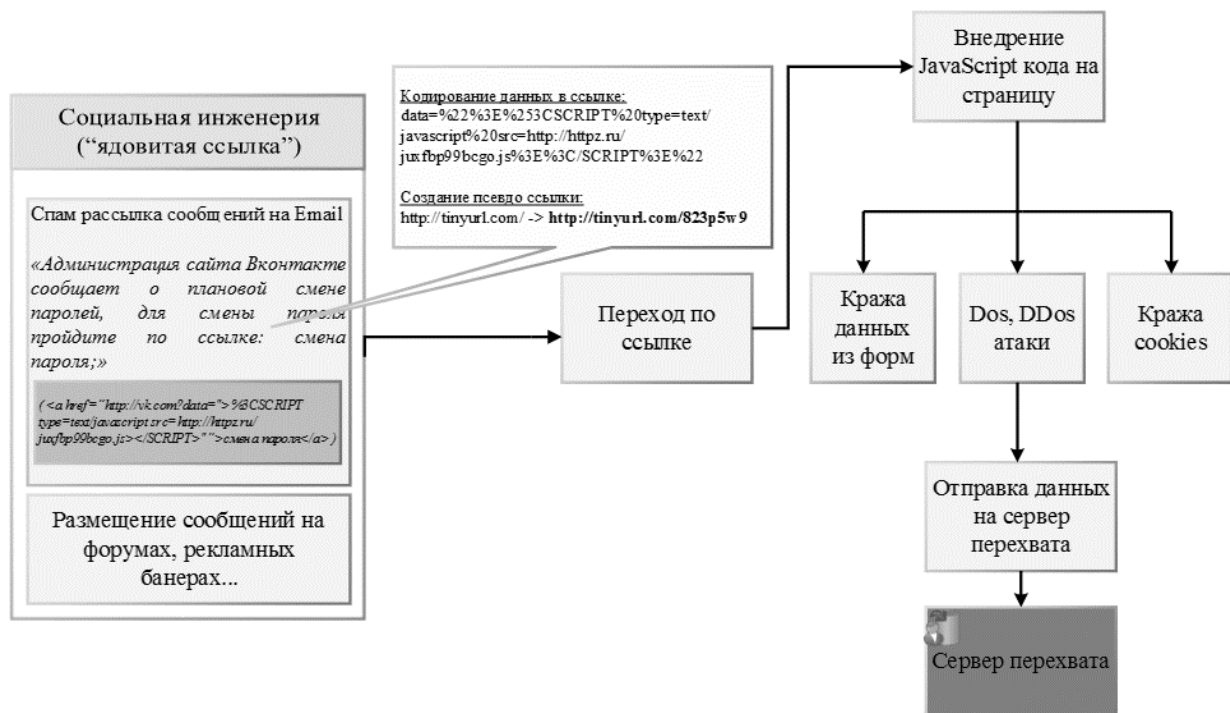


Рис. 4. Схема алгоритма работы пассивной атаки XSS/CSS

Пассивная атака активно используется в совокупности с методами социальной инженерии, для этого применяются спам рассылка «инфицированных» сообщений электронной почты, размещение «инфицированных» сообщений на тематических форумах, рекламных баннерах. При переходе пользователя по ссылке происходит внедрение исполняемого кода в атакуемый интерфейс веб-приложения, что позволяет обеспечить доступ к данным из веб-форм, из файлов cookies и обеспечивать Dos/DDos атаки на сторонние ресурсы. Пассивная атака эффективна только по отношению к пользователям, доверчивым и малограмотным в области интернет-технологий, так как данный способ кражи информации обще-известен [6].

Активная атака XSS/CSS. Данный вид атаки осуществляется без непосредственного взаимодействия с пользователем веб-приложения. По принципу действия атаки подразделяются на атаки с внедрением исполняемого кода на постоянной или непостоянной основе. Внедрение исполняемого кода на постоянной основе базируется на инкапсуляции его на стороне сервера (в файлы php, python... либо в базу данных MySQL, PostgreSQL...) либо непосредственно в DOM (объектная модель документа) веб-обозревателя посредством установленного расширения веб-обозревателя.

Внедрения исполняемого кода на постоянной основе используются с помощью мошеннических схем убеждения владельцев интернет-ресурсов в размещении вредоносного файла на своих серверах. На рис. 5 приведен пример рассылки предупреждений от регистратора доменных имен R01 [7].

В целях получения информационного доступа к ресурсам пользователя, эффективна активная атака на основе внедрения исполняемого кода посредством веб-обозревателя. Ее преимущество, в сравнении с другими методами активных атак, заключается в возможности внедрения исполняемого кода на все страницы веб-обозревателя, что ведет к полному контролю действий пользователя и, как следствие, – к утечке конфиденциальной информации.

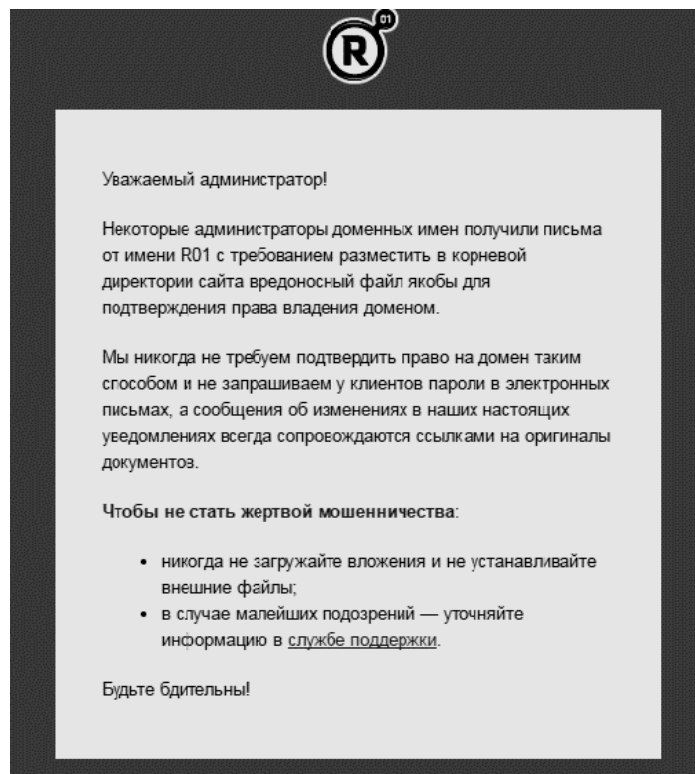


Рис. 5. Предупреждение регистратора доменных имен R01

Активную атаку XSS/CSS на постоянной основе рассмотрим на примере внедрения исполняемого кода посредством расширения веб-обозревателя. Алгоритм работы расширения веб-обозревателя представлен на рис. 6 [8].

Расширение состоит из следующих компонентов:

1. Фоновая страница.
2. «Всплывающая» страница.

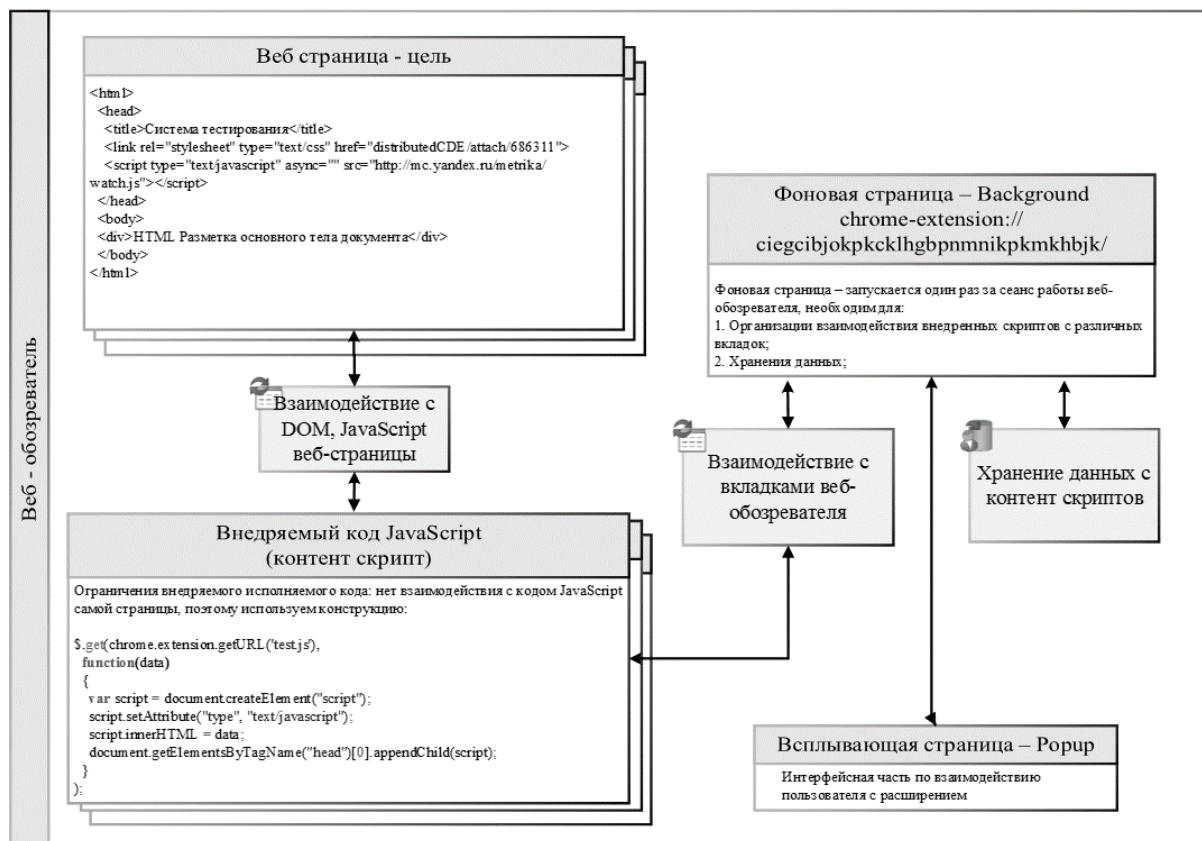


Рис. 6. Схема алгоритма работы расширения веб-обозревателя

Фоновая страница расширения запускается один раз за сеанс работы веб-обозревателя и необходима для следующих операций:

- хранения данных за период работы расширения;
- организации взаимодействия внедренных скриптов с различными вкладок веб-обозревателя;
- внедрения исполняемого кода в DOM страницы.

Взаимодействие пользователя с расширением веб-обозревателя (интерфейсную часть) обеспечивает «всплывающая страница».

Активные расширения отображаются в веб-обозревателе, как показано на рис. 7 (отображается работающее расширение MedTest) [9].

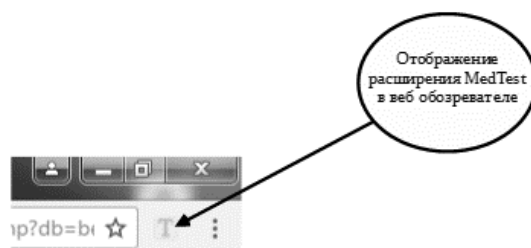


Рис. 7. Отображение расширения MedTest в веб-обозревателе

ПРИМЕР ЭКСПЛУАТАЦИИ УЯЗВИМОСТИ

Работа расширения может быть рассмотрена на примере расширения веб-обозревателя MedTest, предназначенного для прохождения удаленного тестирования студентами. Алгоритм работы данного расширения представлен на рис. 8.

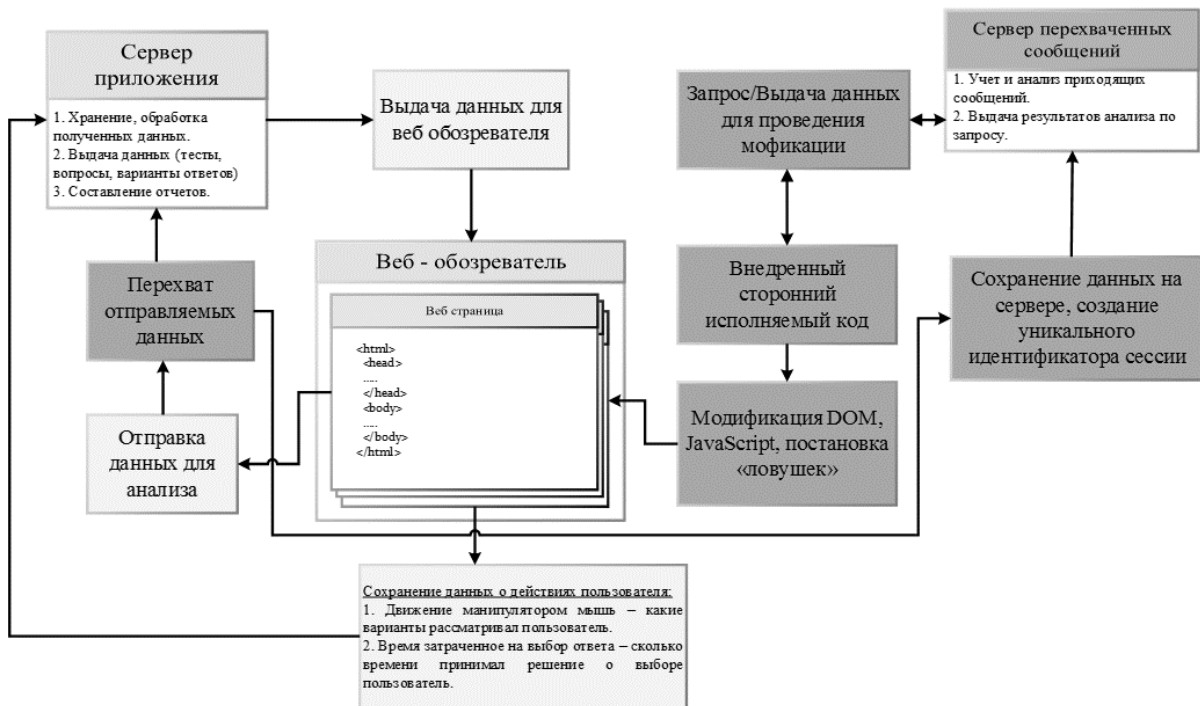


Рис. 8. Схема алгоритма работы расширения MedTest

Алгоритм работы расширения MedTest [10]:

- установка расширения в веб-обозреватель;
- мониторинг (посредством постановки «ловушки») посещаемых пользователем страниц. Цель мониторинга – поиск страницы авторизации системы удаленного тестирования студентов. Эта страница представлена на рис. 9;



Рис. 9. Страница авторизации в системе удаленного тестирования

- перехват вводимых пользователем авторизационных данных и их сохранение на сервере перехвата для дальнейшей привязки действий к конкретному пользователю системы удаленного тестирования;
- сбор данных по задаваемому вопросу и вариантам ответов на данный вопрос (пример перехватываемых данных приведен на рис. 10);
- получение данных и их последующий анализ сервером перехвата на предмет правильных/неправильных вариантов ответов на вопрос;
- отправка результатов анализа обратно расширению веб-обозревателя;
- модификация страницы на основе полученных данных (рис. 11);

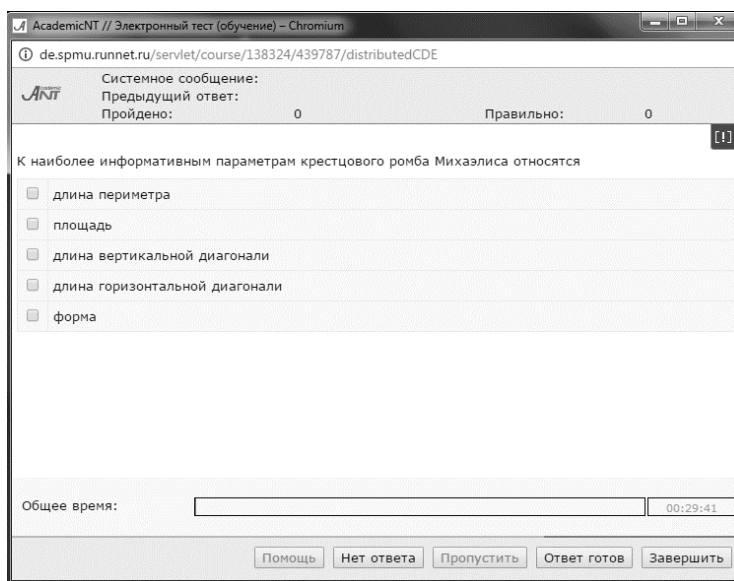


Рис. 10. Перехватываемые данные, отправляемые на сервер перехвата

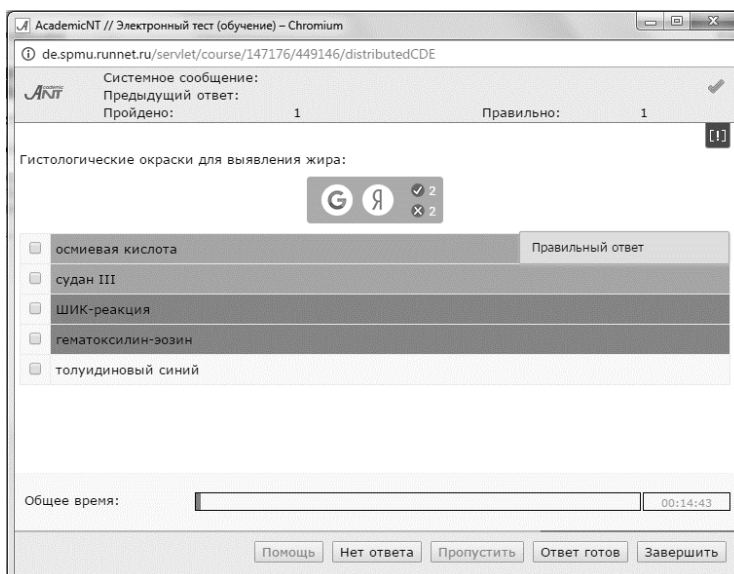


Рис. 11. Отображение данных после модификации расширением веб-обозревателя

- перехват с последующей отправкой на сервер перехвата выбранных пользователем ответов;
- сохранение полученных данных на сервере перехвата.

XSRF/CSRF атака основана на отправке запросов от лица атакуемого пользователя на основе его перехваченных данных [11], позволяющая осуществить:

- любые действия от авторизованного пользователя;
- операции с платежными системами;
- восстановления пароля, доступа к почте или любым другим интернет-сервисам.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА УЯЗВИМОСТЕЙ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ

Уязвимости интерфейса пользователя веб-приложения заключаются в появлении на странице веб-обозревателя «чужого» (не предусмотренного разработчиками) JavaScript кода, результатом работы которого (как правило) являются действие от лица авторизованного пользователя, утечка конфиденциальной информации. Основным вектором проникновения JavaScript кода со стороны сервера являются исполняемые серверные файлы (PHP, Python), выдача из базы данных (MySQL, PostgreSQL и т.д.), со стороны веб-обозревателя – это установленное расширение веб-обозревателя. Таким образом, поиск уязвимостей сводится к анализу возможности несанкционированной вставки (инъектирование) JavaScript кода в базу данных, анализу модифицирования исполняемых файлов, анализу установленных расширений веб-обозревателя (рис. 12).



Рис. 12. Методы поиска XSS уязвимостей

Способы анализа возможности инъектирования JavaScript кода в базу данных широко освещены в ряде работ:

- Сигалов Д.А., Раздобаров А.В., Петухов А.А. Использование отладочного API современного веб-обозревателя для обнаружения уязвимостей DOM-BASED XSS // Математические основы компьютерной безопасности. – 2017. – №35;
- Шабалин Ю.Д., Елисеев В.Л. Исследование нейросетевого алгоритма для обнаружения аномалий в поведении сетевого хоста при автоматизированном поиске XSS уязвимостей и SQL инъекций // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т.16, №2;

– Баранов П.А., Бэйбутов Э.Р. Обеспечение информационной безопасности информационных ресурсов с помощью межсетевых экранов для веб приложений // Бизнес-информатика. – 2015. – №4 (34).

Суть таких способов сводится к отправке на сервер запроса, который частично может быть встроено в SQL запрос к базе данных (результатом «удачного» прохождения такого типа запроса может быть вставка JavaScript кода). Проверка модификации исполняемых серверных файлов заключается в сверке с заранее сформированной контрольной суммой (например, по алгоритму MD5), в случае расхождения происходят блокировка/удаление исполняемого файла и его восстановление из резервной копии. Анализ получаемого трафика веб-обозревателем необходим (при условии использования незащищенного соединения по протоколу http) вследствие возможной модификации html контента в процессе передачи контента от сервера к веб-обозревателю (данный способ известен как «человек посередине»). В этом случае защитой также является сравнение с контрольной суммой (сформированной на сервере). Анализ методов поиска JavaScript кода (эксплуатирующих уязвимости, представленные на рис. 3) в расширении веб-обозревателя показал отсутствие таковых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение метода добывания информации посредством атаки на интерфейс пользователя веб-приложения посредством использования расширений веб-обозревателя представляет собой эффективный метод, так как расширение имеет полный неконтролируемый доступ ко всем данным, обрабатываемым веб-обозревателем.

С учетом повсеместного внедрения сети Интернет (в том числе и в Министерстве обороны России) при отсутствии эффективных методов как анализа расширений веб-обозревателя, так и способов несанкционированного внедрения расширений в веб-обозреватель исследование способов несанкционированного внедрения расширения в веб-обозреватель для получения информационного доступа является актуальной задачей информационного противоборства текущим и будущим угрозам.

Список используемых источников

1. Category: OWASP Top Ten Project – OWASP. – URL: https://www.owasp.org/index.php/Category:OWASP_Top_Ten_Project (дата обращения: 21.01.2017).
2. XSS глазами злоумышленника. – URL: <https://habrahabr.ru/post/66057/> (дата обращения: 21.01.2017).
3. Сканер XSS уязвимостей, на 100 строчек кода. – URL: <https://xaker.ru/2012/10/04/skanner-xss-uyazvimostej-na-100-strochek-koda/> (дата обращения: 14.01.2017).
4. XSS для новичков. – URL: <https://forum.antichat.ru/threads/20140/> (дата обращения: 22.01.2017).
5. Cross-site Scripting(XSS). – URL: [https://www.owasp.org/index.php/Cross-site_Scripting_\(XSS\)](https://www.owasp.org/index.php/Cross-site_Scripting_(XSS)) (дата обращения: 22.01.2017).
6. SQL-инъекции. XSS-инъекции. – URL: <https://sevidi.ru/php/phppage68.php> (дата обращения: 20.01.2017).
7. Анатомия межсайтового скриптинга. – URL: <https://bugtraq.ru/library/www/xssanatomy.html> (дата обращения: 17.01.2017).
8. Расширенный межсайтовый скриптинг. – URL: <https://bugtraq.ru/library/www/advancedxss.html> (дата обращения: 17.01.2017).

9. Методы защиты от XSS-атак и SQL-инъекций. – URL: <http://bourabai.ru/php/secure-php.htm> (дата обращения: 17.01.2017).
10. Лучшие практики и рекомендации по защите php - приложений от XSS. - URL: <https://habrahabr.ru/company/pentestit/blog/211494/> (дата обращения: 15.01.2017).
11. CWE-79: Improper Neutralization of Input During Web Page Generation ('Cross-site Scripting'). - URL: <http://cwe.mitre.org/data/definitions/79.html> (дата обращения: 15.01.2017).

Р.В. Лукьянов,
адъюнкт

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РАЗНОРОДНО-МАССОВЫХ ИНЦИДЕНТОВ

Представлена методика контроля состояния информационной безопасности автоматизированных систем для поддержания требуемого уровня информационной безопасности в условиях информационно-технических воздействий. Применение методики позволяет снизить время принятия решения администратором безопасности по инциденту безопасности.

Ключевые слова: инцидент безопасности, система обеспечения информационной безопасности, контроль информационной безопасности, оценивание состояния информационной безопасности.

ВВЕДЕНИЕ

Практическое решение усложняющихся задач управления системами обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем (АС) и необходимость повышения обоснованности и качества принимаемых решений настоятельно требуют обеспечения актуальности, достоверности, безопасности (прежде всего конфиденциальности, целостности и доступности) информации и оперативности ее получения путем контроля состояния информационной безопасности (ИБ) в условиях разнородно-массовых инцидентов.

В настоящее время вопросам управления информационной безопасностью посвящено большое количество работ отечественных ученых: П.Д. Зегжды, А.Г. Ломако, С.А. Петренко, И.Е. Горбачёва, Д.В. Андрушкевича [1–5] и др. В отдельных работах [6, 7] ставятся вопросы оценивания и обеспечения устойчивости автоматизированных систем в условиях деструктивных воздействий. Однако анализ таких работ показал, что они зачастую ограничены исследованием одного набора характеристик объектов оценки и не учитывают данных, предоставляемых SIEM-системами (системами управления ИБ и управления событиями безопасности).

Предлагаемая методика отличается от существующих методик контроля состояния ИБ, направленных на решение обобщенных задач, тем, что она позволяет, с учетом влияния воздействующих факторов на защищаемую информацию, снизить время принятия решения администратором безопасности для поддержания требуемого уровня информационной безопасности в условиях информационно-технических воздействий.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

В рамках диссертационных исследований был разработан способ контроля уровня потенциальной опасности объектов информатизации [4], разработанный на базе метода агрегирования коэффициентов опасности и метода экспертного анализа, позволяющих оценить общее состояние системы информационной безопасности. На основе данного способа предлагается методика контроля состояния безопасности объектов информатизации в условиях разнородно-массовых инцидентов, схема которой представлена на рис. 1.

Разработанная методика включает в себя ряд этапов.

Э т а п 1. Анализ АС.

В ходе анализа АС на основе контроля и мониторинга состояния ИБ, контроля соответствия требованиям законодательства РФ, решений РД ФСТЭК РФ и приказов ФСБ РФ определяются [8]:

- перечень источников угроз;
- перечень уязвимостей, через которые возможна реализация угроз;
- перечень угроз безопасности информации;
- перечень деструктивных воздействий, выполняемых в результате реализации угроз (копирование, перехват, уничтожение, модификация, блокирование, разглашение, хищение информации);
- совокупность взаимосвязей между источниками угроз, угрозами и уязвимыми звеньями;
- совокупность взаимосвязей между угрозами и деструктивными действиями;
- перечень ресурсов, конфиденциальность, целостность или доступность которых нарушается при выполнении данного деструктивного действия.

Результаты анализа являются входными данными для последующих шагов по обеспечению оперативного контроля безопасности.

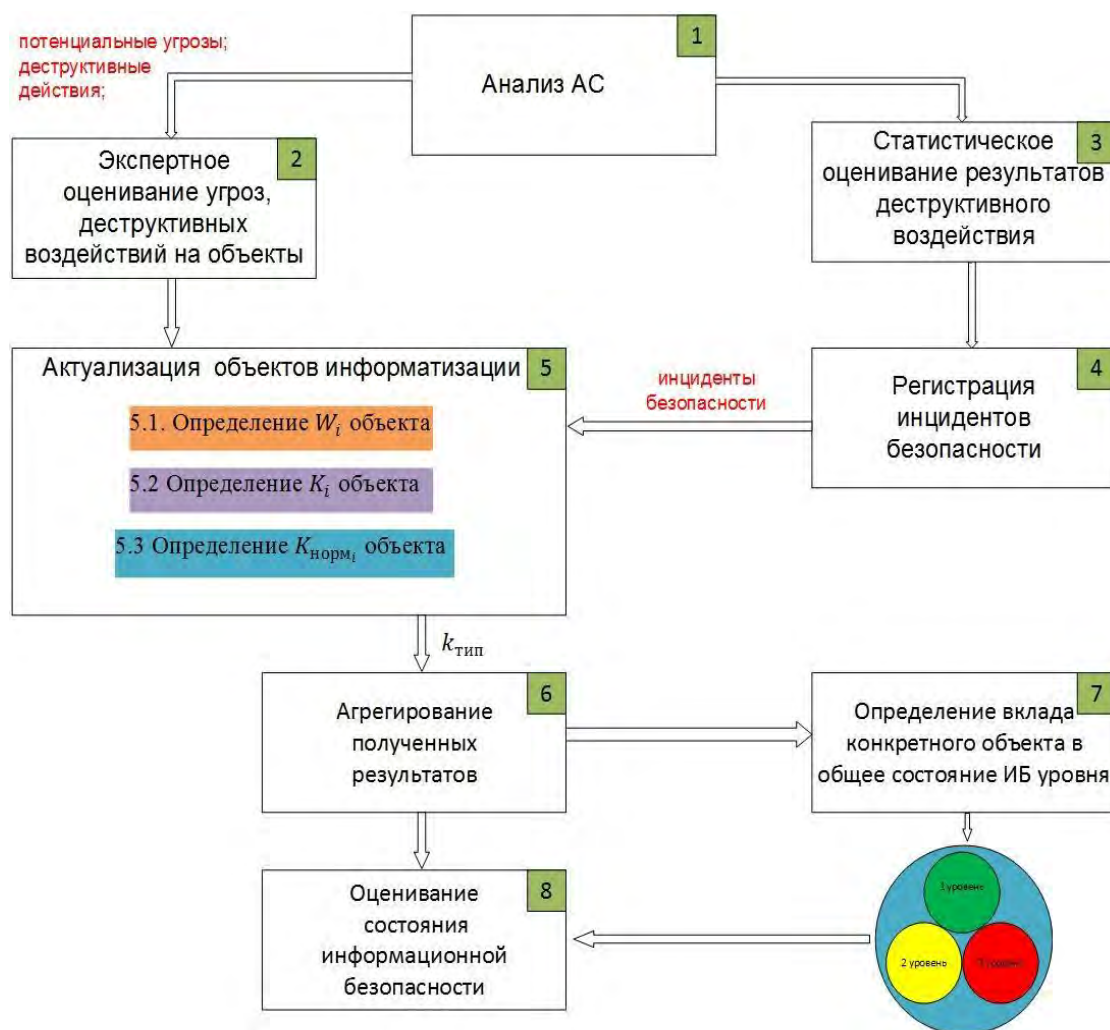


Рис. 1. Методика контроля состояния безопасности объектов информатизации в условиях разнородно-массовых инцидентов

Э т а п 2. Экспертное оценивание угроз и деструктивных воздействий на объекты.

При *экспертном оценивании* применяется методика определения актуальных угроз безопасности информации [5]. На основе такой методики проводится оценивание угроз безопасности, деструктивных действий и ресурсов АС, в отношении которых действует угроза (перечни угроз безопасности, деструктивных действий и ресурсов АС формируются на этапе анализа). Кроме того, на этом этапе в результате экспертного анализа формируются области возможных значений коэффициентов опасности объектов информатизации.

Э т а п 3. Статистическое оценивание результатов деструктивного воздействия.

В ходе *статистического оценивания* результатов деструктивных воздействий, на основе накопленных статистических данных о нарушениях, ранее зафиксированных в АС, определяются вид и характеристики закона распределения числа нарушений на интервале времени, необходимые для построения оптимальной системы регистрации.

Э т а п 4. Регистрация инцидентов безопасности.

На этом этапе с помощью разработанной модели контроля состояния ИБ [4] осуществляется регистрация событий безопасности. Происходит их сравнение с известными событиями безопасности в базе данных. После построения оптимальной системы регистрации начинается ее функционирование, в ходе которой средства контроля безопасности осуществляют регистрацию инцидентов безопасности.

Э т а п 5. Актуализация объектов информатизации.

Актуализация производится на основе существующих объектов информатизации и множества значений коэффициентов и включает в себя три шага.

На первом шаге проводится анализ результатов регистрации, в ходе которого осуществляется выбор конкретных значений коэффициента важности W_i объекта путем экспертного оценивания.

На втором шаге формируется коэффициент опасности K_i объекта.

На третьем шаге для агрегирования полученных коэффициентов в силу несоизмеримости составляющих его параметров проводится нормирование коэффициента опасности по инциденту на одном уровне:

$$K_{\text{норм}_i} = \frac{K_i \times W_i}{e}, \quad (1)$$

где $K_{\text{норм}_i}$ – нормированный коэффициент конкретного объекта информатизации;

W_i – коэффициент важности;

K_i – коэффициент опасности конкретного объекта информатизации;

e – натуральное число.

Э т а п 6. Агрегирование полученных результатов.

Агрегирование производится с целью оценивания полученных на предыдущем этапе значений коэффициентов. Первоначально для агрегирования коэффициентов опасности проводится определение типового коэффициента (наименьшего из возможных). Затем осуществляется логарифмическая свертка полученных коэффициентов:

$$k_{\text{агр}} = \frac{-\sum K_{\text{норм}_i} \times \log K_{\text{норм}_i}}{n}, \quad (2)$$

где $k_{\text{агр}}$ – агрегированный коэффициент опасности всего уровня;

n – количество объектов на уровне.

Э т а п 7. Определение вклада конкретного объекта в общее состояние ИБ уровня.

На данном этапе, после проведения агрегирования, производится оценивание вклада объектов информатизации за весь уровень безопасности:

$$K'_{\text{вкл}_j} = \frac{K_{\text{вкл}_j}}{\sum K_{\text{вкл}_i}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{вкл}_j}^{\wedge}$ – коэффициент вклада объекта информатизации подчиненного уровня безопасности;
 $K_{\text{вкл}_i}^{\wedge}$ – коэффициент вклада i -го объекта,

$$K_{\text{вкл}_i}^{\wedge} = K_{\text{агр}} \sum_m \ln \frac{1}{K_{\text{тип}}}. \quad (4)$$

Э т а п 8. Оценивание состояния информационной безопасности.

Оценивание общего состояния информационной безопасности осуществляется путем мониторинга коэффициентов вклада в общее состояние ИБ уровня. Мониторинг заключается в выявлении наиболее критичного объекта безопасности, т.е. того, который вносит наибольший вклад в общее состояние безопасности. Оценивание общего состояния системы безопасности предлагается проводить по трем уровням нарушения, согласно разработанной классификации инцидентов безопасности информации (табл. 1).

Таблица 1

Уровни нарушения безопасности

| Уровни безопасности | Решающие правила |
|-----------------------|------------------------------------|
| 3-й уровень (КРАСНЫЙ) | $K_{\text{рез}} > K_2$ |
| 2-й уровень (ЖЕЛТЫЙ) | $K_1 \leq K_{\text{рез}} \leq K_2$ |
| 1-й уровень (ЗЕЛЕНый) | $K_{\text{рез}} < K_1$ |

П р и м е ч а н и е. Здесь $K_1, K_2 \in K$ – допустимые значения уровней нарушения безопасности.

После обработки инцидента с высшим уровнем нарушения безопасности администратор вновь оценивает общее состояние системы. Тем самым администратор, контролируя общее состояние системы, поддерживает требуемый уровень информационной безопасности АС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенной методике была решена задача разработки комплексного подхода к автоматизации процесса контроля состояния ИБ, основанной на агрегировании коэффициентов опасности и применяемой в том числе для SIEM-систем, которая позволит отслеживать характеристики инцидента безопасности и выбирать своевременно адекватные защитные меры.

Практическая значимость разработанной методики заключается в том, что она доведена до предложений по управлению информационной безопасностью в условиях разнородно-массовых инцидентов безопасности, что обеспечивает заметное снижение времени принятия решения администратором безопасности по поддержанию требуемого уровня информационной безопасности.

Достоверность и обоснованность данной методики контроля подтверждаются программной реализацией, а также ее использованием в научно-исследовательских работах. Практическая реализация методики подтверждена актами о внедрении результатов диссертационных исследований, в рамках которых была разработана методика контроля состояния ИБ АС.

Список используемых источников

1. Зегжда П.Д., Калинин М.О. Автоматическое управление безопасностью компьютерных систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2013. – №4. – С.15–23.

2. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г.* Построение систем информационной безопасности: от живых организмов к киберсистемам // *Защита информации. Инсайд.* – 2013. – №2 (50). – С.61–65.
3. *Петренко С.А.* Концепция поддержания работоспособности киберсистем в условиях информационно-технических воздействий // *Труды Института системного анализа Российской академии наук.* – 2009. – Т.41. – С.175–193.
4. *Лукьянов Р.В., Андрушкевич С.С.* Анализ угроз безопасности информации и способов контроля ИБ АС // *Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности».* – СПб., 2017. – С. 242–250.
5. *Горбачёв И.Е., Лукьянов Р.В., Сухов А.М.* Особенности обеспечения информационной безопасности критической инфраструктуры с учетом специфики автоматизированных систем управления технологическими процессами // *Защита информации. Инсайд.* – 2016. – №2 (68). – С.30–37.
6. *Петренко С.А.* Проблема устойчивости функционирования киберсистем в условиях деструктивных воздействий // *Труды Института системного анализа Российской академии наук.* – 2010. – Т.52. – С.68–105.
7. *Гончаренко В.А.* Оценивание устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей к деструктивным воздействиям на основе учета связности маршрутов // *Вестник Российского нового университета. Сер. Сложные системы: модели, анализ и управление.* – 2015. – № 1. – С.96–100.
8. *Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации: руководящий документ / Гостехкомиссия России.* – М.: ГТК России, 1992.

Р.В. Лукьянов,
адъюнкт

СПОСОБ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Представлен способ организации контроля состояния информационной безопасности (ИБ) автоматизированных систем (АС). Определен наибольший вклад объекта информатизации в общее состояние уровня безопасности.

Ключевые слова: контроль информационной безопасности, автоматизированная система, динамический индикатор потенциальной опасности.

ВВЕДЕНИЕ

Осуществляя контроль состояния ИБ военно-технической системы, администратор безопасности имеет возможность оперативного управления ИБ, исправляя выявляемые отклонения, своевременно пресекая инциденты ИБ, устраняя уязвимости, принимая меры по корректировке средств защиты и т.д. Однако несовершенство способов контроля уровня потенциальной опасности не позволяет эффективно решать задачи контроля реального состояния ИБ АС [1] и поддерживать требуемый уровень безопасности.

Разработанным способом, при использовании накопленных данных о нарушениях, имеющих место в системе обеспечения информационной безопасности (СОИБ) АС, определяются вид и характеристики поступающих на вход событий безопасности. Он позволяет в автоматизированном режиме контролировать состояние ИБ на всех уровнях безопасности. Способ позволяет также получить максимальную осведомленность о состоянии безопасности объектов информатизации на всех звеньях управления. Это дает возможность оптимальным образом организовать функционирование СОИБ в условиях разнородно-массовых инцидентов, в результате чего снижается время на принятие решения администратором безопасности по поддержанию требуемого уровня ИБ.

Вопросам оценки защищенности и управления информационной безопасностью посвящено большое количество работ видных отечественных ученых: И.В. Котенко, С.А. Петренко, М.А. Еремеева, И.Е. Горбачёва, Д.В. Андрушкевича. Анализ работ показал, что они зачастую ограничены исследованием одного набора характеристик объектов и не учитывают данных, предоставляемых различными средствами защиты информации. Поэтому в предлагаемом способе была решена задача разработки комплексного подхода к автоматизации процесса контроля состояния ИБ, основанного на агрегировании коэффициентов опасности и применимого в том числе для SIEM-систем, который позволит отслеживать характеристики инцидента безопасности и выбирать адекватные защитные меры.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ

Для разработки способа организации контроля уровня потенциальной опасности была создана модель контроля состояния ИБ [2] и выявлена необходимость решения задачи определения вклада объекта информатизации в весь уровень безопасности с целью обнаружения и регистрации инцидентов безопасности. Для этого в первую очередь необходимо произвести нормирование коэффициента опасности на объекте:

$$K_{\text{норм}_i} = \frac{K_i W_i}{e}, \quad (1)$$

где $K_{\text{норм}_i}$ – нормированный коэффициент конкретного объекта информатизации;

W_i – коэффициент важности;

K_i – коэффициент опасности конкретного объекта информатизации;

e – натуральное число (≈ 2.7).

Далее, на основе полученных данных происходит агрегирование коэффициентов опасности на всем уровне:

$$k_{\text{агр}} = \frac{-\sum(K_{\text{норм}_i} \ln K_{\text{норм}_i})}{n}, \quad (2)$$

где $k_{\text{агр}}$ – агрегированный коэффициент опасности всего уровня;

n – количество объектов на уровне.

Заключительным этапом будет оценивание вклада объекта информатизации на всем уровне:

$$K_{\text{вкл}_j}^* = \frac{K_{\text{вкл}_i}^*}{\sum K_{\text{вкл}_i}^*}, \quad (3)$$

где $K_{\text{вкл}_i}^*$ – коэффициент вклада i -го объекта,

$$K_{\text{вкл}_i}^* = K_{\text{агр}} \sum_{1 \leq i \leq n} \frac{1}{K_{\text{тип}}}. \quad (4)$$

$K_{\text{вкл}_j}^*$ – коэффициент вклада объекта информатизации подчиненного уровня безопасности.

Учитывая данные условия и проведя моделирования возможных вариантов, необходимо добиться того, чтобы $k_{\text{агр}}$ был максимально большим, вследствие чего будет расти коэффициент вклада V объекта информатизации в общее состояние уровня безопасности.

ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НАБЛЮДЕНИЯ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

В ходе подготовки исходных данных производится экспертное оценивание возможных коэффициентов важности объектов информатизации путем опроса экспертов. При подготовке исходных данных производится экспертное оценивание возможных деструктивных действий, выполняемых в результате реализации угроз безопасности (копирование, перехват, уничтожение, модификация, блокирование, разглашение, хищение информации), конфиденциальность, целостность или доступность которых нарушается при выполнении конкретного деструктивного действия.

При формировании исходных данных применяется методика определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры (КСИИ) [3], построенная на основе метода экспертных оценок. Указанная методика предназначена для определения перечня актуальных угроз безопасности информации в КСИИ в целях разработки мероприятий по обеспечению безопасности, контролю и подготовке исходных данных для оценивания эффективности принятых мер и средств защиты информации.

В качестве показателя актуальности угрозы безопасности информации принимается двух-компонентный вектор:

- первый компонент – вероятность реализации угрозы,
- второй – коэффициент опасности угрозы.

Под *вероятностью реализации угрозы безопасности информации* в ключевых системах информационной инфраструктуры (КСИИ) понимается вероятность формирования условий, при которых создается потенциальная или реально существующая опасность нарушения безопасности.

Под *коэффициентом опасности* объекта информатизации понимается отношение величины ущерба, который возникает в результате реализации угрозы безопасности информации, определяемое экспертным способом, к его максимальному (неприемлемому) значению. Определяемый указанным образом коэффициент опасности безопасности информации не зависит от вида ущерба и задает универсальную единую шкалу оценки для всех видов угроз безопасности информации.

Рассмотрим этапы методики определения актуальных угроз безопасности информации в КСИИ.

При анализе и оценивании актуальности угроз используются *исходные данные*, выявление которых проводится путем экспертного опроса с помощью анкетирования.

Исходными данными для анкетирования являются:

- перечень источников угроз;
- перечень уязвимостей, через которые возможна реализация угроз;
- перечень угроз безопасности информации;
- перечень деструктивных действий, выполняемых в результате реализации угроз (копирование, перехват, уничтожение, модификация, блокирование, разглашение, хищение информации);
- значения коэффициентов опасности выполнения деструктивных действий;
- значения вероятностей наличия благоприятных условий для использования уязвимостей в интересах реализации угроз безопасности информации;
- совокупность взаимосвязей между источниками угроз, угрозами и уязвимыми звеньями;
- совокупность взаимосвязей между угрозами и деструктивными действиями.

Показатель актуальности угрозы рассчитывается по значениям коэффициентов опасности деструктивных действий, выполненных при реализации угрозы, и вероятностей ее реализации.

При формировании соотношений для определения перечня актуальных угроз безопасности информации принимаются следующие *допущения*:

- перечень и характеристики возможных угроз безопасности информации заданы до проведения расчетов;
- перечень ресурсов с защищаемой информацией определен до проведения расчетов;
- важность защищаемой информации определена до проведения расчетов;
- угрозы могут быть реализованы независимо друг от друга;
- ущерб от реализации совокупности угроз аддитивен относительно ущерба, наносимого в результате выполнения разных деструктивных действий при реализации одной или нескольких угроз;
- опасность деструктивного действия оценивается применительно к каждому защищаемому ресурсу, конфиденциальность, целостность или доступность которого нарушается при выполнении данного деструктивного действия.

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВКЛАДУ ИНЦИДЕНТА В ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ

Необходимо *выработать решения по вкладу* объекта информатизации в общее состояние безопасности (на всем уровне рассмотрим 12 объектов), которые, в свою очередь, состоят из трех шагов.

1. Для оценивания вклада конкретного объекта информатизации в общее состояние информационной безопасности уровня безопасности на основе полученных данных от экспертов выводятся показатели коэффициентов опасности и важности.

2. Для агрегирования полученных коэффициентов опасности в силу несоизмеримости составляющих его параметров проводится нормирование коэффициента опасности по инциденту на одном уровне (табл. 1).

Таблица 1

Агрегирование коэффициентов опасности

| | | | | | |
|-------------------------|-------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|
| $K_{оп}$ 0.1 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0037 | $K_{тип}$ 0.0037 | $K_{агр}$ 0.1074 | $K_{вклад}$ 0.0833 |
| $K_{оп}$ 0.1 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0037 | $K_{агр}$ 0.1475 | $K_{вклад}$ 0.4500 |
| $K_{оп}$ 0.2 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0074 | $K_{агр}$ 0.2216 | $K_{вклад}$ 0.2903 |
| $K_{оп}$ 0.3 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0110 | $K_{агр}$ 0.2865 | $K_{вклад}$ 0.2143 |
| $K_{оп}$ 0.4 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0147 | $K_{агр}$ 0.3455 | $K_{вклад}$ 0.1698 |
| $K_{оп}$ 0.5 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0187 | $K_{агр}$ 0.4000 | $K_{вклад}$ 0.1406 |
| $K_{оп}$ 0.6 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0221 | $K_{агр}$ 0.4510 | $K_{вклад}$ 0.1200 |
| $K_{оп}$ 0.7 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0257 | $K_{агр}$ 0.4990 | $K_{вклад}$ 0.1047 |
| $K_{оп}$ 0.8 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0294 | $K_{агр}$ 0.5446 | $K_{вклад}$ 0.0928 |
| $K_{оп}$ 0.1, 0.9 – 0.9 | $K_{в}$ 0.1 | $K_{норм}$ 0.0331 | $K_{тип}$ 0.0037 | $K_{агр}$ 0.5478 | $K_{вклад}$ 0.0900 |
| $K_{оп}$ 0.1 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.0368 | $K_{тип}$ 0.0368 | $K_{агр}$ 0.6330 | $K_{вклад}$ 0.0833 |
| $K_{оп}$ 0.1 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.0368 | $K_{агр}$ 0.7393 | $K_{вклад}$ 0.4500 |
| $K_{оп}$ 0.2 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.0735 | $K_{агр}$ 1.0761 | $K_{вклад}$ 0.2903 |
| $K_{оп}$ 0.3 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.1103 | $K_{агр}$ 1.3210 | $K_{вклад}$ 0.2143 |
| $K_{оп}$ 0.4 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.1471 | $K_{агр}$ 1.5062 | $K_{вклад}$ 0.1698 |
| $K_{оп}$ 0.5 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.1838 | $K_{агр}$ 1.6470 | $K_{вклад}$ 0.1406 |
| $K_{оп}$ 0.6 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.2206 | $K_{агр}$ 1.7525 | $K_{вклад}$ 0.1200 |
| $K_{оп}$ 0.7 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.2574 | $K_{агр}$ 1.8285 | $K_{вклад}$ 0.1047 |
| $K_{оп}$ 0.8 – 0.9 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.3309 | $K_{тип}$ 0.2941 | $K_{агр}$ 1.8794 | $K_{вклад}$ 0.0928 |
| $K_{оп}$ 0.9 – 0.9, 0.1 | $K_{в}$ 1 | $K_{норм}$ 0.0368 | $K_{тип}$ 0.0368 | $K_{агр}$ 1.8020 | $K_{вклад}$ 0.0100 |

3. В результате моделирования получаем значения типового коэффициента, коэффициента $K_{агр}$ агрегированного и, как следствие, получаем коэффициент вклада. За типовой коэффициент $k_{тип}$ опасности примем коэффициент опасности объекта с наименьшим возможным значением (рис. 2).

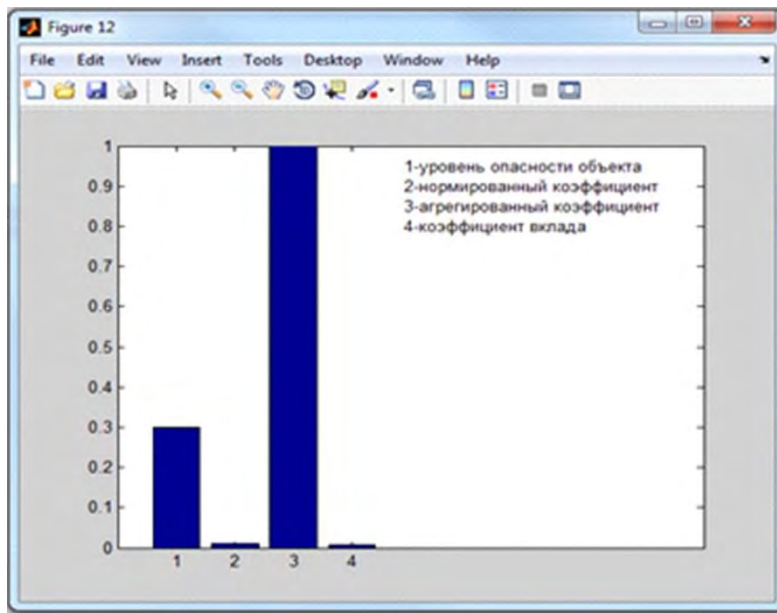


Рис. 2. Графическое отображение моделирования

На рис. 3 представлен график вклада объекта информатизации в общее состояние информационной безопасности всего уровня за счет роста агрегированного коэффициента, что существенно позволяет снизить время реагирования и принятия решения по инциденту безопасности. На этом графике изображен верхний $k_{\text{агр}}$, получившийся в результате ввода значений $K_i(\text{const} = 1)$ и $W_i = 0.1 \div 0.7$. Нижний $k_{\text{агр}}$ является результатом ввода значений $K_i(\text{const} = 0.1)$ и $W_i = 0.1 \div 0.7$. Количество объектов информатизации на уровне – 7.

С учетом полученных таким образом коэффициентов нужный объект информатизации попадает в общую картину информационной безопасности, выделяясь соответствующим цветом. При поступлении в систему очередного объекта информатизации оценивается общее состояние всех уровней информационной безопасности путем расчета вклада объекта информатизации в общее состояние безопасности. Оценивание общего состояния системы безопасности предлагается проводить по трем уровням нарушения безопасности (табл. 2).

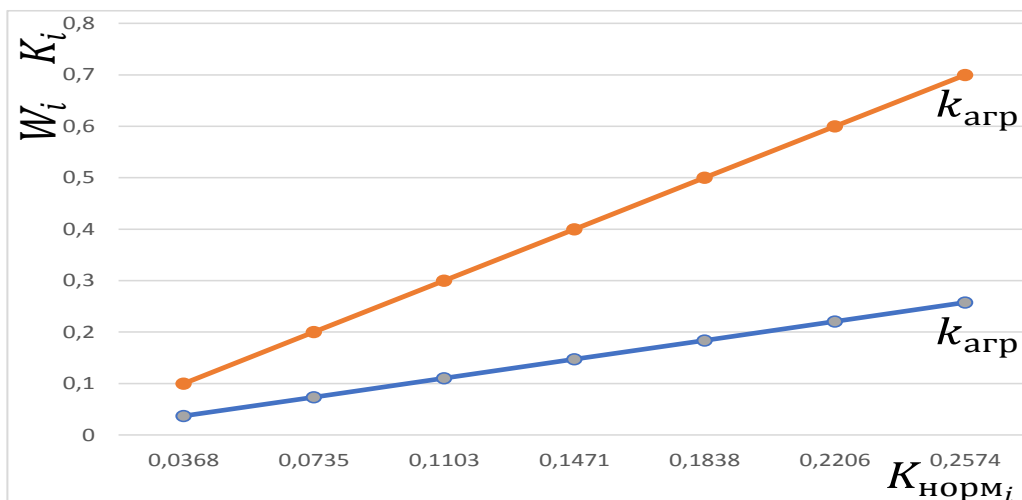


Рис. 3. Вклад объектов информатизации в общее состояние информационной безопасности всего уровня безопасности

Далее по вкладу объекта информатизации в общее состояние безопасности всех уровней принимается решение об обработке информации об объекте с наибольшим вкладом и удалении его из общей базы данных. Вновь оценивается общее состояние и принимается решение по необходимости дальнейшего реагирования на выявленные объекты. Тем самым осуществляется контроль состояния ИБ в АС и достигается требуемый уровень безопасности информации АС.

Таблица 2

Уровни нарушения безопасности

| Уровни безопасности | Решающие правила |
|-----------------------|-----------------------------|
| 3-й уровень (КРАСНЫЙ) | $K_{рез} > K_2$ |
| 2-й уровень (ЖЕЛТЫЙ) | $K_1 \leq K_{рез} \leq K_2$ |
| 1-й уровень (ЗЕЛЕНый) | $K_{рез} < K_1$ |

Примечание. Здесь $K_1, K_2 \in K$ – допустимые значения уровней нарушения безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отличие разработанного способа от существующих способов контроля состояния ИБ, которые направлены на решение обобщенных задач, заключается в том, что он построен с учетом влияния воздействующих факторов на защищаемую информацию: возможных деструктивных действий и ресурсов АС, на которые направлены эти действия, и позволяет решить задачу контроля состояния ИБ в гетерогенной инфраструктуре.

Практическая значимость способа заключается в том, что он доведен до предложений по управлению информационной безопасностью в условиях разнородно-массовых инцидентов безопасности, что обеспечило снижение времени принятия решения администратором безопасности по поддержанию требуемого уровня информационной безопасности.

Список используемых источников

1. Лукьянов Р.В., Андрушкевич Д.В., Сухов А.М. Алгоритм оперативного контроля ИБ АС // Сборник алгоритмов и программ прикладных задач. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Вып. № 33. – С. 267–273.
2. Лукьянов Р.В., Андрушкевич С.С. Анализ угроз безопасности информации и способов контроля ИБ АС // Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». – СПб., 2017. – С. 242–250.
3. Горбачев И.Е., Лукьянов Р.В., Сухов А.М. Особенности обеспечения информационной безопасности критической инфраструктуры с учетом специфики автоматизированных систем управления технологическими процессами // Защита информации. Инсайд. – 2016. – № 2 (68). – С.30–37.

В.В. Абраменков,
доктор техн. наук, профессор
ВА ВПВО ВС РФ, г. Смоленск;
А.Д. Гаврилов,
доктор военных наук, профессор
ВА ВПВО ВС РФ, г. Смоленск;
Д.Г. Майбуров,
кандидат военных наук, доцент

ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Представлен анализ современных направлений совершенствования систем селекции движущихся целей РЛС при обнаружении малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, и излагаются некоторые результаты исследований этой проблемы, выполненных в Военной академии войсковой ПВО ВС РФ и Военно-космической академии.

Ключевые слова: информационно-управленческий контур, отражение ударов средств воздушно-космического нападения противника, компоненты системы информационного обеспечения, радиолокационные станции, беспилотные летательные аппараты, селекция движущихся целей.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема борьбы с разнотипными беспилотными летательными аппаратами (БЛА) с особой остротой проявилась в последние годы. Особенно актуальна она при организации и ведении противодействия малоразмерным БЛА в информационно-управленческом контуре группировки войск (сил) на театре военных действий (ТВД) при подготовке и в ходе отражения удара средств воздушно-космического нападения противника (СВКН), начиная от ведения разведки и заканчивая стрельбой по малоразмерным воздушным целям.

СУЩНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С МАЛОРАЗМЕРНЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Особенности отражения удара таких специфических средств широко освещены в многочисленных публикациях, в частности в статьях [1, 2]. В этих работах системно изложены вопросы, касающиеся проблем обнаружения и поражения малоразмерных БЛА, предложены возможные решения по организации и построению системы борьбы с ними. Также в них отмечается, что в современных условиях отражения удара СВКН, в классическом его исполнении, практически невозможно эффективно бороться с массой малоразмерных БЛА. Необходима разработка системы радикальных мер противодействия едва ли не новому виду современных СВКН в целях значительного снижения эффективности их боевого применения.

Успешное противодействие малоразмерным БЛА возможно лишь при организации комплексного отражения удара СВКН, в котором должны участвовать все формирования группировки войск (сил), обладающих потенциалом для борьбы с БЛА на земле и в воздухе, а также способных оказывать радиоэлектронное противодействие системам управления и наведения БЛА.

Данные формирования группировки войск (сил), в свою очередь, должны оснащаться эффективными средствами обнаружения малоразмерных воздушных целей и зенитными ракетными (артиллерийскими) комплексами для ведения огня. Информационную поддержку такой системы должны обеспечивать все имеющиеся средства информационного обеспечения и в первую очередь – радиолокационные.

Малоразмерные БЛА как радиолокационные цели имеют следующие особенности: малую эффективную поверхность рассеяния (ЭПР); малые высоты полета; относительно невысокие скорости полета. Эти особенности являются источником целого ряда проблем при обнаружении и измерении координат малоразмерных БЛА радиолокационными средствами всех компонентов системы информационного обеспечения управления отражением удара СВКН (космического, воздушного, наземного и морского).

Малая ЭПР, а значит, и низкая отражательная способность БЛА затрудняют их обнаружение даже в беспомеховой обстановке. Малые высоты полета приводят к тому, что сигналы, отраженные от подобных летательных аппаратов, маскируются мощными переотражениями от подстилающей поверхности, метеообразований и других пассивных помех. Из-за невысоких скоростей полета БЛА спектры отраженных от них сигналов располагаются близко к главным лепесткам спектров пассивных помех, что усугубляет эффект маскирования и приводит к тому, что в системах селекции движущихся целей (СДЦ) радиолокационных станций происходит подавление полезного сигнала вместе с помеховым.

Для преодоления этих проблем необходим обширный комплекс мер, в который входят и задачи повышения возможностей РЛС для своевременного обнаружения малоразмерных БЛА на требуемых дальностях. Для улучшения разведывательных возможностей РЛС требуется совершенствование всех ее технических систем, среди которых одно из важнейших мест занимает система СДЦ. Важность этого обусловлена тем, что в силу приведенных выше факторов сигналы малоразмерных БЛА всегда наблюдаются на фоне пассивных помех, а значит, качество работы системы СДЦ в существенной мере определяют характеристики обнаружения РЛС в целом.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ

Требования к характеристикам систем СДЦ РЛС, предназначенных для обнаружения малоразмерных БЛА, определяются исходя из параметров пассивных помех и обнаруживаемых целей. Имеющиеся результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что превышение уровня пассивных помех над отраженными от малоразмерных БЛА сигналами может составлять 60 дБ и более. В зависимости от значений несущей частоты сигнала РЛС, периода следования импульсов, диапазона скоростей ветра и т.д., ширина спектра пассивной помехи может составлять десять и более процентов от полосы частот, определяемой средней частотой следования импульсов РЛС. В таких ситуациях спектры полезных сигналов и пассивных помех могут располагаться в непосредственной близости друг от друга или перекрываться.

С учетом перечисленных факторов основные требования к амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) системы СДЦ РЛС обнаружения малоразмерных БЛА заключаются в следующем:

- в области близких к нулю доплеровских частот АЧХ должна иметь зону режекции, форма которой близка к прямоугольной;
- глубина зоны режекции должна быть не менее 60 дБ;
- ширина зоны режекции должна адаптивно изменяться в зависимости от ширины спектра пассивной помехи.

Близкая к прямоугольной форма зоны режекции обеспечит эффективное разделение близко расположенных спектров полезных сигналов и пассивных помех. Глубина зоны режекции обеспечит подавление пассивных помех до уровня, позволяющего обнаружить полезный сигнал. Изменение ширины зоны режекции необходимо для адаптации к складывающейся помеховой обстановке в ходе отражения удара СВКН.

В наибольшей степени предъявленным требованиям соответствуют системы СДЦ, построенные на основе:

- фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) в виде эллиптических и подобных им фильтров;
- фильтров с зоной режекции, синтезированной методом ограниченной оптимизации;
- фильтров с зоной режекции, синтезированной проекционным методом.

Так, эллиптические фильтры с числом обратных связей четыре и более обеспечивают практически прямоугольную зону режекции с достаточной ее глубиной и шириной. Их недостатком является большая длительность переходных процессов, которая не позволяет войти в установившийся режим работы в ситуациях, когда число импульсов, излучаемых и принимаемых РЛС, ограничено. На практике подобные ограничения обусловлены жесткими требованиями к скорости обзора зоны обнаружения, когда нет возможности просматривать одно направление достаточно длительное время.

На рис. 1 представлены АЧХ эллиптического фильтра 4-го порядка для РЛС производства США. Полоса частот на горизонтальной оси нормирована относительно частоты следования импульсов РЛС и находится в пределах $\pm F_{\Pi} / 2$, где F_{Π} – частота следования импульсов РЛС. По вертикальной оси – нормирована к максимуму АЧХ в децибелах. АЧХ получены в условиях, когда на вход фильтра подавались пачки из 200, 100 и 50 импульсов соответственно. Из рисунка видно, что при числе входных импульсов $N_u = 200$ глубина зоны режекции составляет ≈ 60 дБ, ее ширина $\approx 0,1\Delta F$, что удовлетворяет перечисленным выше требованиям к системам СДЦ РЛС обнаружения малоразмерных БЛА. При уменьшении числа входных импульсов до 100 глубина зоны режекции уменьшается до -50 дБ и при числе входных импульсов, равном 50, составляет ≈ 30 дБ, чего явно недостаточно для эффективной работы в условиях пассивных помех. Вторым недостатком БИХ фильтра является сложность изменения зоны режекции, что затрудняет адаптацию к изменяющейся помеховой обстановке.

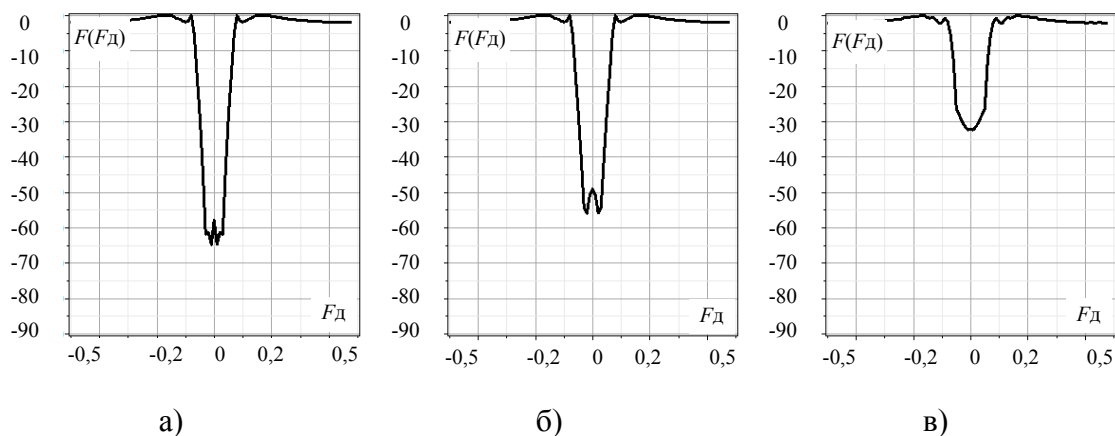


Рис. 1. АЧХ системы СДЦ на основе эллиптического БИХ-фильтра 4-го порядка при числе входных импульсов (N_u), равном 200 (а), 100 (б) и 50 (в)

Таким образом, большая длительность переходных процессов и сложность адаптации к меняющейся помеховой обстановке препятствуют использованию БИХ-фильтров в системах СДЦ РЛС обнаружения малоразмерных БЛА.

Следующий тип системы СДЦ РЛС обнаружения малоразмерных БЛА основан на использовании фильтров с АЧХ заданной формы, синтезированных методом ограниченной оптимизации. Суть данного подхода заключается в том, что полоса частот ΔF перекрывается параллельным набором узкополосных частотных фильтров, максимумы которых настроены на соответствующие доплеровские частоты за пределами зоны режекции. АЧХ каждого из фильтров имеет провалы заданной ширины и глубины в зоне режекции, расположенной в окрестности нулевых доплеровских частот.

Поскольку ширина спектра пассивных помех может меняться в различных условиях, на этапе проектирования системы СДЦ формируются несколько наборов частотных фильтров с различной шириной зоны режекции. В зависимости от складывающейся помеховой обстановки используется тот или иной набор фильтров. Весовые коэффициенты, необходимые для формирования требуемых АЧХ, как правило, вычисляются методами последовательного приближения (координатного поиска, генетические алгоритмы и т.д.). На рис. 2 представлены АЧХ трех наборов фильтров для различной ширины зоны режекции: $0,01\Delta F$ (рис. 2,а), $0,03\Delta F$ (рис. 2,б) и $0,1\Delta F$ (рис. 2,в) соответственно.

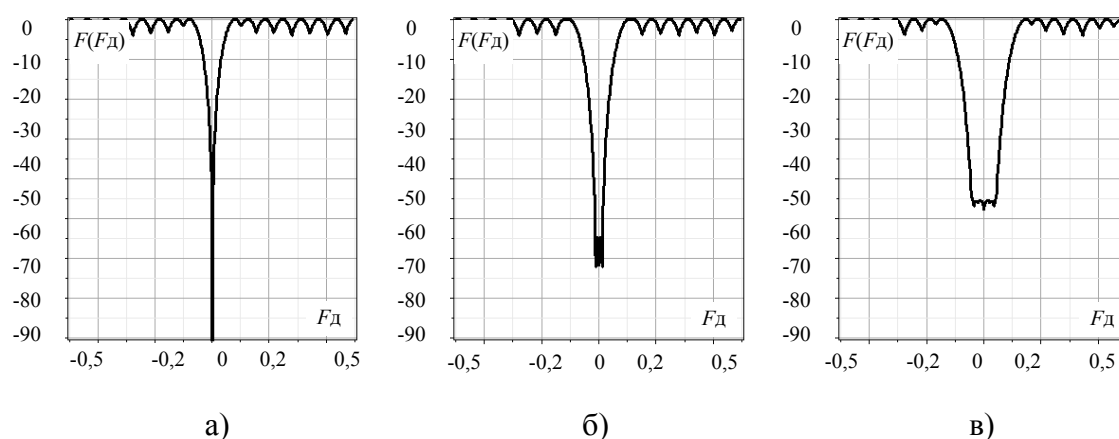


Рис. 2. АЧХ системы СДЦ на основе метода ограниченной оптимизации с шириной зоны режекции $0,01\Delta F$, $0,03\Delta F$, $0,1\Delta F$

Анализ рисунка показывает, что недостатком рассматриваемого подхода является уменьшение глубины зоны режекции при увеличении ее ширины. Так, глубина зоны режекции уменьшается с -80 дБ при ширине $0,01\Delta F$ до -45 дБ при ширине $0,1\Delta F$. Такая глубина подавления пассивной помехи не удовлетворяет необходимым требованиям. Кроме того, фильтры, синтезированные методом ограниченной оптимизации, имеют еще один существенный недостаток, заключающийся в уменьшении глубины зоны режекции при модуляции последовательности входных импульсов вращающейся диаграммой направленности антенны. Такой вид модуляции характерен для всех РЛС кругового обзора.

На рис. 3 представлены АЧХ системы СДЦ, основанной на так называемом проекционном методе. Это один из самых новых методов синтеза фильтров с заданной формой АЧХ. Отличие его от рассмотренного выше метода ограниченной оптимизации заключается в порядке формирования вектора весовых коэффициентов.

Анализ рисунка показывает, что форма АЧХ в последнем случае ближе к прямоугольной форме, что благоприятно сказывается на разделении близко расположенных спектров помехи и полезного сигнала. Однако недостаток, связанный с уменьшением глубины зоны режекции при увеличении ее ширины, так же, как и в предыдущем случае, не позволяет говорить о достаточной эффективности данного типа системы СДЦ.

Общим недостатком двух последних типов систем СДЦ является невозможность использования быстрых вычислительных алгоритмов типа быстрого преобразования Фурье, что существенно увеличивает вычислительные затраты при работе системы СДЦ в реальном масштабе времени.

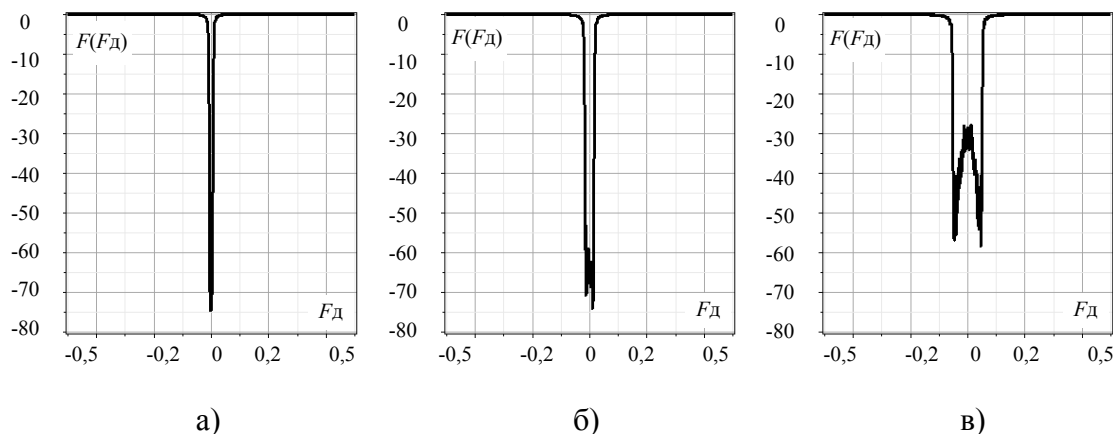


Рис. 3. АЧХ системы СДЦ на основе проекционного метода с шириной зоны режекции $0,01\Delta F$, $0,03\Delta F$, $0,1\Delta F$

Таким образом, результаты проведенного анализа современных направлений совершенствования систем СДЦ приводят к выводу, что присущие им недостатки не позволяют эффективно использовать их для решения проблемы обнаружения малоразмерных БЛА на фоне пассивных помех.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Проведенные исследования позволили выяснить причины возникновения отмеченных выше недостатков и в значительной мере их устранить. Одной из главных причин является то, что во всех перечисленных выше методах подавление пассивных помех производится до когерентного накопления сигнала или параллельно с ним. В любом случае это не позволяет достичь максимального отношения как помеха/шум, так и сигнал/шум, а значит, обеспечить наиболее эффективное подавление пассивной помехи и выделение полезного сигнала. В ходе исследований были разработаны метод детерминированной компенсации пассивных помех и основанная на нем новая система СДЦ. Отличительной особенностью метода и системы СДЦ является то, что подавление пассивных помех выполняется после когерентного накопления всей энергии принятого сигнала (пачки импульсов). Это позволяет наиболее точно оценить параметры спектра пассивной помехи и повысить эффективность ее подавления.

АЧХ системы СДЦ, основанной на методе детерминированной компенсации помех, представлены на рис. 4. Глубина зоны режекции превышает 100 дБ и не уменьшается с ростом ее ширины. Сравнение с представленными выше АЧХ других типов позволяет сделать вывод об устранении недостатка, связанного с уменьшением глубины зоны режекции при ее расширении.

Для подтверждения эффективности разработанной системы СДЦ была выполнена проверка ее работоспособности путем обработки экспериментальных данных. Записи экспериментальных данных были получены и предоставлены для обработки АО «ФНПЦ «ННИИРТ»

(г. Нижний Новгород). Задача эксперимента состояла в обнаружении малоразмерного БЛА *Banshee* радиолокационной станцией 1Л122, разработанной на этом же предприятии.

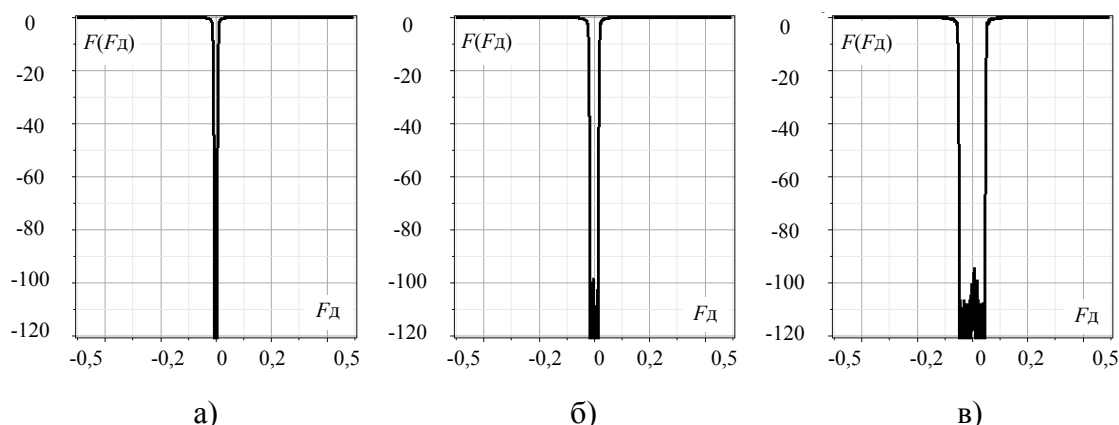


Рис. 4. АЧХ системы СДЦ на основе метода детерминированной компенсации с шириной зоны режекции $0,01\Delta F$, $0,03\Delta F$, $0,1\Delta F$

БЛА разработан в Великобритании и имеет следующие характеристики: длина – 2,84 м; размах крыльев – 2,49 м; максимальная взлетная масса – 70 кг; максимальная скорость полета – 200 км/ч. РЛС 1Л122 представляет собой малогабаритную трехкоординатную когерентно-импульсную РЛС малой дальности кругового обзора дециметрового диапазона.

Ниже приведены некоторые результаты эксперимента. Записи отраженных сигналов обрабатывались параллельно в СДЦ на основе проекционного метода (СДЦ П) и в СДЦ на основе метода детерминированной компенсации помех (СДЦ Д). На рис. 5,а показан спектр входного сигнала, на рис. 5,б – спектр выходного сигнала СДЦ П, на рис. 5,в – спектр выходного сигнала СДЦ Д. Результаты, представленные на данном рисунке, получены при помехах слабой интенсивности, что видно из рис. 5,а. На этом рисунке уровень шума превышен только главным лепестком спектра пассивной помехи, который расположен в области нулевой доплеровской частоты. Отношение помеха/шум составляет ≈ 25 дБ. Анализируя этот же рисунок, можно сделать вывод, что даже при таком относительно низком уровне пассивных помех отраженный от БЛА сигнал не наблюдается, поскольку в силу малой ЭПР цели находятся ниже уровня помех.

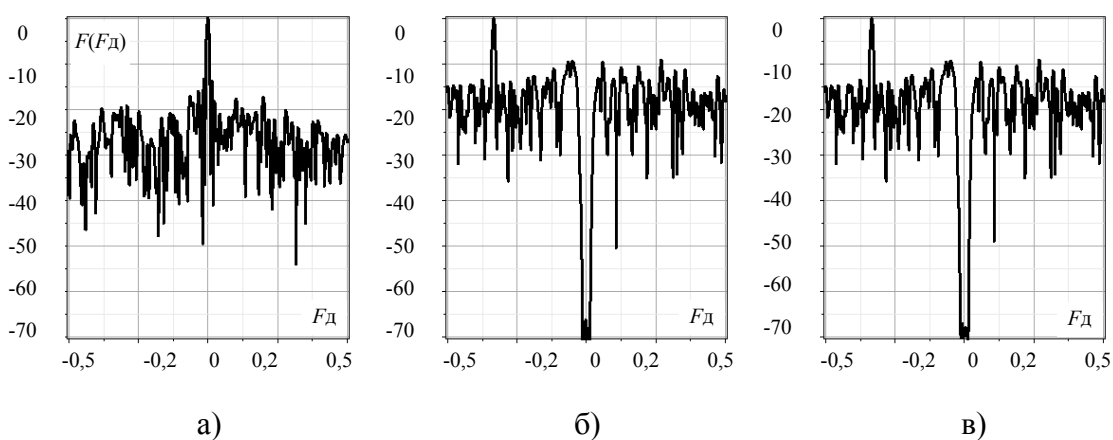


Рис. 5. Спектр входного сигнала (а), выходного сигнала СДЦ П (б), выходного сигнала СДЦ Д (в) в пассивных помехах слабой интенсивности, при ширине зоны режекции $0,01\Delta F$

В результате обработки в системах СДЦ П и СДЦ Д с шириной зоны режекции $0,01\Delta F$, АЧХ которых показаны на рис. 3,а и 4,а, пассивная помеха была подавлена и сигнал БЛА обнаруживается в обоих случаях, что видно из рис. 5,б и в.

Измеренная доплеровская частота сигнала БЛА равна $-0,13\Delta F$. Из этих же рисунков видно, что в выходном спектре обоих типов СДЦ в области расположения главного лепестка спектра пассивной помехи сформировался глубокий провал. На рис. 6 представлены результаты, аналогичные результатам на рис. 5, но при этом сигнал БЛА замаскирован отражениями от пассивных помех сильной интенсивности. Отношение помеха/шум составляет ≈ 60 дБ.

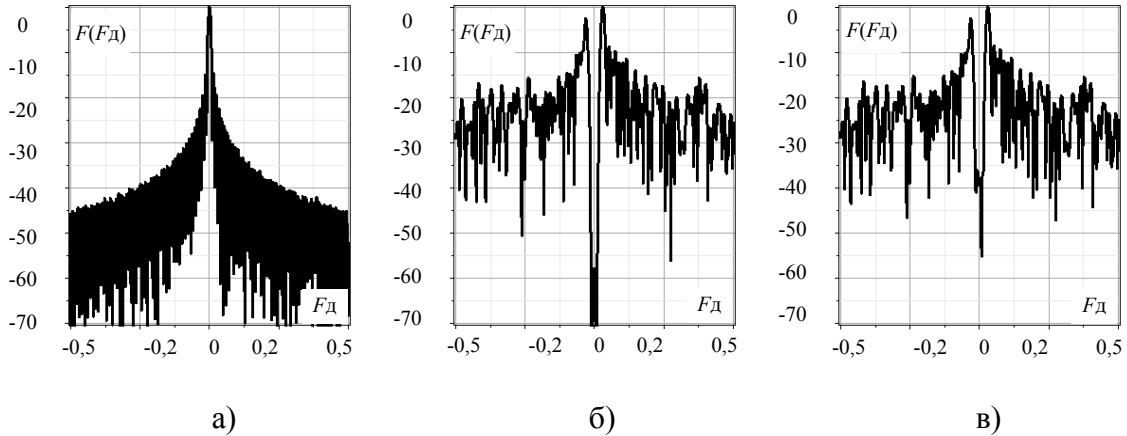


Рис. 6. Спектр входного сигнала (а), выходного сигнала СДЦ П (б), выходного сигнала СДЦ Д (в) в пассивных помехах сильной интенсивности, при ширине зоны режекции $0,01\Delta F$

В указанном случае уровень шума существенно превышен не только главным лепестком спектра пассивной помехи, но и боковыми лепестками, что видно из рис. 6,а. После обработки в СДЦ П и СДЦ Д с шириной зоны режекции $0,01\Delta F$ отраженный от БЛА сигнал не обнаруживается, что видно из рис. 6,б и в. На этих рисунках нескомпенсированные остатки ближних боковых лепестков спектра пассивной помехи по-прежнему маскируют полезный сигнал. Полученные результаты доказывают, что для эффективной работы в условиях пассивных помех сильной интенсивности требуется расширение зоны режекции системы СДЦ.

На рис. 7 представлены результаты обработки сигнала в обеих системах СДЦ с шириной зоны режекции $0,1\Delta F$, АЧХ которых показаны на рис. 3,в и 4,в. Из рис. 3,в видно, что АЧХ системы СДЦ П при такой ширине зоны режекции обеспечивает глубину подавления пассивной помехи примерно до уровня -40 дБ.

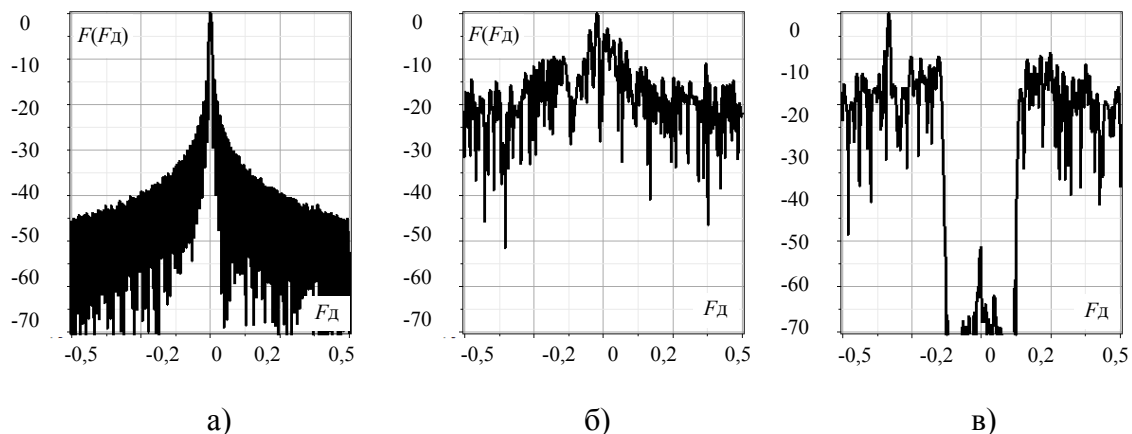


Рис. 7. Спектр входного сигнала (а), выходного сигнала СДЦ П (б), выходного сигнала СДЦ Д (в) в пассивных помехах сильной интенсивности, при ширине зоны режекции $0,1\Delta F$

Поскольку мощность сигнала пассивной помехи превышает указанное значение, выходной спектр СДЦ П (рис. 7,б) содержит нескомпенсированные остатки помехи во всей полосе частот. Сигнал цели не обнаруживается, что доказывает недостаточную эффективность данной системы СДЦ при работе в пассивных помехах сильной интенсивности. В спектре выходного сигнала системы СДЦ Д (рис. 7,в) пассивная помеха подавлена во всей зоне режекции, а полезный сигнал отчетливо выделяется на фоне шума.

На рис. 8 представлены азимутально-дальностные развертки входного сигнала (рис. 8,а) и выходных сигналов систем СДЦ обоих типов. БЛА расположен во втором отсчете дальности.

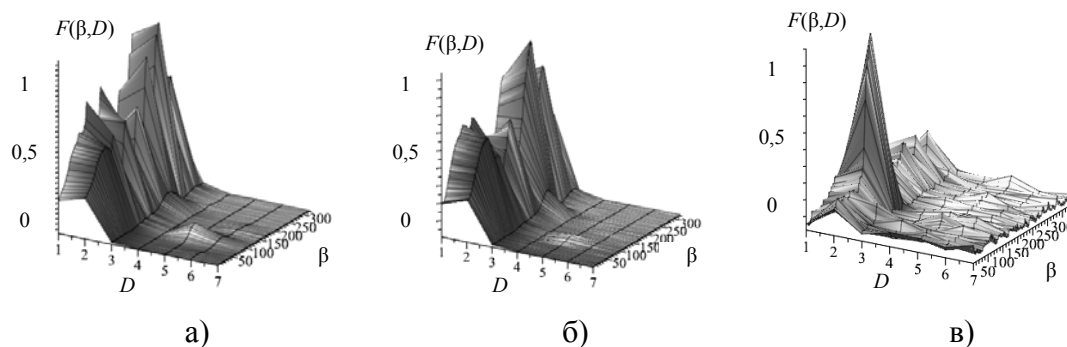


Рис. 8. Азимутально-дальностная развертка входного сигнала (а), выходного сигнала СДЦ П (б), выходного сигнала СДЦ Д (в) в пассивных помехах сильной интенсивности, при ширине зоны режекции $0,1\Delta F$

Ширина зон режекции в обеих системах СДЦ равна $0,1\Delta F$. Из рис. 8,а видно, что мощные переотражения от пассивных помех не позволяют обнаружить полезный сигнал. Недостаточная глубина зоны режекции системы СДЦ П (рис. 8,б) также не позволяет добиться требуемого результата. Обработка сигнала в системе СДЦ Д (рис. 8,в) позволяет подавить пассивную помеху и выделить сигнал малоразмерного БЛА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты выполненного анализа и обработки экспериментальных данных подтверждают, что система СДЦ РЛС обнаружения малоразмерных БЛА должна иметь возможность адаптации ширины зоны режекции в зависимости от мощности пассивной помехи и ширины ее спектра. Глубина зоны режекции должна составлять 60 дБ и более, независимо от ширины зоны режекции. Известные методы подавления пассивных помех не удовлетворяют этим требованиям. В результате исследований, выполненных совместно в Военной академии войсковой ПВО ВС РФ и Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, разработана система СДЦ РЛС, удовлетворяющая предъявленным требованиям. В случае заинтересованности разработчиков отечественного радиолокационного вооружения в полученных результатах возможно рассмотрение вопроса об использовании их для построения систем СДЦ разрабатываемых или модернизированных РЛС, в том числе предназначенных для обнаружения малоразмерных БЛА.

Список используемых источников

1. Гаврилов А.Д., Ерёмин Г.В., Назарчук И.И. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО // Арсенал Отечества. – 2014. – № 5. – С. 12–19.
2. Гаврилов А.Д., Ерёмин Г.В., Назарчук И.И. Организация системы борьбы с малоразмерными БЛА // Арсенал Отечества. – 2014. – № 6. – С. 24–32.

А.А. Ардашов,
кандидат техн. наук;
А.А. Сасункевич,
кандидат техн. наук;
А.П. Софьин,
кандидат техн. наук, доцент;
Л.А. Фёдорова,
кандидат техн. наук, доцент

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕНЬЕВ МАНИПУЛЯТОРА КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА

Предложен вариант определения геометрических параметров космических манипуляторов, предназначенных для сервисного обслуживания космических аппаратов.

Ключевые слова: космический робот, манипулятор, люк, звено, запас манипулятивности, характеристическая точка манипулятора.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие манипуляционных систем связано с расширением диапазона операций, проводимых в космосе с орбитальными объектами и их аппаратурой. Типичным примером разработанных космических манипуляторов для использования в открытом космосе являются манипуляционные роботы многоразовых космических кораблей «Буран» и «Спейс Шаттл» (*Space Shuttle*), а также международной космической станции (МКС).

В первую очередь отметим дистанционно-управляемый манипулятор (ДУМ) *Canadarm*, который устанавливался на многоразовом транспортном космическом корабле (МТКК) *Space Shuttle*. При этом предусматривалась возможность установки двух рук ДУМ. В течение многих лет *Canadarm* был не просто основным, но единственным космическим манипулятором с несколькими сегментами, т.е. построенным по принципу человеческой руки. Результатом эволюционного развития манипулятора *Canadarm* является разработанный для МКС манипулятор *Canadarm-2*, изготовленный в Канаде.

Манипулятор для космического корабля «Буран» был разработан в Государственном научном центре – Центральном научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте робототехники и технической кибернетики (ГНЦ ЦНИИ РТК РФ, Санкт-Петербург). На «Буране» в штатных полетах предполагалось использовать два одинаковых манипулятора [1]. Эти манипуляторы имели сходные с манипулятором *Canadarm* кинематическую схему и внешний облик (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Положение манипулятора при работе

Манипулятор «Бурана» не был испытан в условиях космического полета (в первом и единственном полете «Бурана» он не устанавливался, а второй полет в декабре 1991 года, во время которого предусматривалось его испытание, так и не состоялся).

Развитие аналогичных устройств привело к появлению манипуляторов с более совершенным управлением. В то же время их структурно-компоновочные схемы во многом повторяют друг друга. К примеру, рабочая «рука» МКС – манипулятор *Canadarm-2* [2], смонтированный на станции в апреле 2001 года, устроен аналогично манипулятору *Canadarm* и манипулятору, установленному на «Буране».

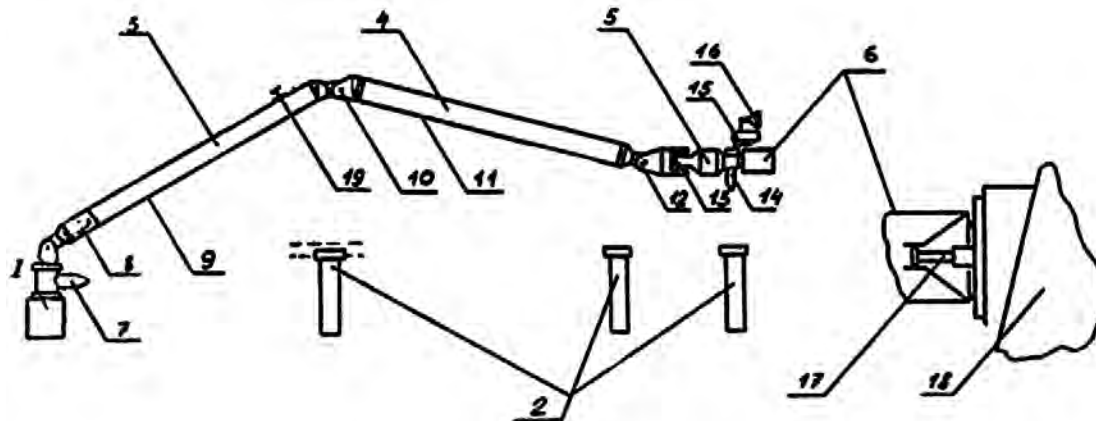


Рис. 2. Схема манипулятора:

- 1 – корень манипулятора; 2 – ложементы; 3 – плечевое звено; 4 – локтевое звено;
 5 – кистевое звено; 6 – захватное устройство; 7 – шарнир рыскания плеча; 8 – шарнир тангажа плеча; 9 – соединительная труба; 10 – шарнир тангажа локтя;
 11 – соединительная труба; 12 – шарнир тангажа кисти; 13 – шарнир рыскания кисти;
 14 – шарнир ротации кисти; 15 – телекамера; 16 – светильник; 17 – такелажный элемент;
 18 – объект манипулирования; 19 – такелажный элемент плечевого звена

Если рассматривать существующие структурно-компоновочные схемы космических манипуляторов, то можно утверждать, что основной применяемый вариант манипулятора – трехзвенная манипуляционная система шарнирного типа. Именно этот вариант будет использован в дальнейших рассуждениях. Статья посвящена вопросам подхода к выбору геометрических параметров элементов типичной кинематической схемы манипулятора.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА

Схема функционирования космического манипулятора представлена на рис. 3, где область 4 соответствует области непосредственного обслуживания – приборному отсеку.

Положение точек пространства, с которыми совмещается характеристическая точка манипулятора (конец выходного звена манипулятора, центр масс схвата, вершина режущей кромки обрабатывающего рабочего инструмента, шлицы или сжимающие губки приспособлений), можно определить радиусом-вектором \vec{r} в прямоугольной системе координат, связанной с неподвижным основанием манипулятора. Совокупность допустимых значений параметра $\vec{r}(x_i, y_i, z_i)$ будет описывать некоторую область V , привязанную к точке установки манипулятора. Такая область называется рабочим пространством (РП). При этом границы, до которых может перемещаться характеристическая точка манипулятора, будут определять границы его достижимости. Задача пространственного перемещения может быть реализована или на базе сложных пространственных механизмов, или с помощью комбинации типовых плоских устройств.

Анализ технической литературы [3–5] показывает, что проектирование манипулятора связано не только с выбором общей компоновочно-кинематической схемы, но и, в том числе, геометрических соотношений между ее основными элементами. Одной из проблем, возникающих при разработке манипулятора космического робота, применяемого в рабочем пространстве с препятствиями, люками и отверстиями, является первоначальная оценка длин звеньев, позволяющих реализовать заданные функциональные задачи.

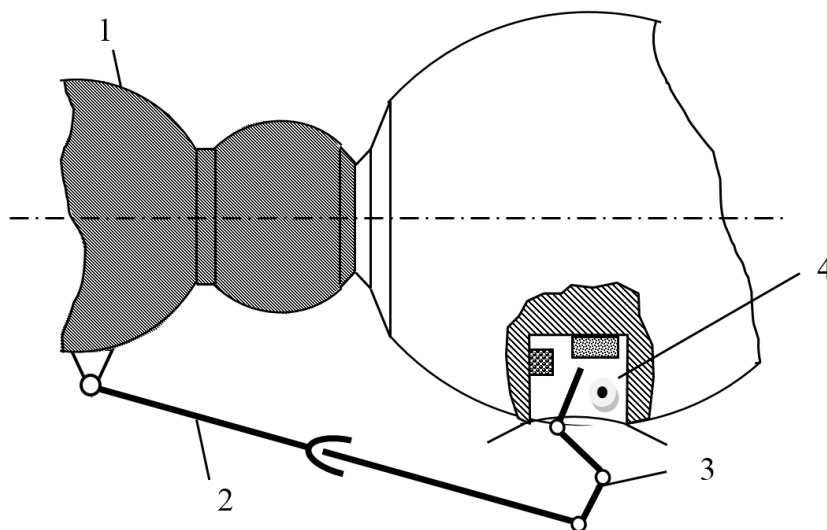


Рис. 3. Схема функционирования манипулятора космического робота:
1 – сервисный аппарат; 2 – транспортный манипулятор; 3 – сервисный манипулятор;
4 – приборный отсек обслуживаемого аппарата

Учитывая относительно большие габариты космических аппаратов, может возникнуть необходимость использования дополнительной транспортной части (или отдельного манипулятора), обеспечивающей перемещение сервисного манипулятора в рабочую зону (под люк, отверстие). К примеру, с этой целью можно использовать аналоги отечественных механических кранов «Стрела» (сегодня на российском сегменте МКС используются два крана «Стрела»), выполненных в виде 15-метровых телескопических штанг, разворачиваемых вокруг двух осей. В данной работе это устройство рассматриваться не будет.

В качестве рабочего органа на орбите могут использоваться различного рода схваты, рабочий инструмент и приспособления.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯТОРА

Рассмотрим наиболее типичный вариант кинематической схемы сервисного манипулятора, состоящей из вращательных пар и, для обеспечения пространственного движения выходного звена, сферической пары с пальцем. Как и в типовых схемах рассматриваем 3-звенную схему.

Несмотря на достаточную простоту, такая схема может оказаться предпочтительной в условиях космического пространства. Это связано в первую очередь с тем, что создание схемы с использованием вращательных элементов потребует меньших затрат мощности, чем, к примеру, при применении в манипуляторе поступательных пар.

Представим кинематическую схему и рассмотрим движение звеньев в прямоугольной декартовой системе координат ($Oxyz$). Звенья кинематической схемы (рис. 4) совершают следующие движения: звено 1 длиной l_1 – вращательное движение; звено 2 длиной l_2 – сложное движение в плоскости xoz (совокупность двух вращательных движений); звено 3 длиной l_3' – сложное движение в пространстве.



Рис. 4. Рычажная кинематическая схема сервисного манипулятора

Предположим, что целевая точка рабочего пространства находится в пределах обслуживаемого объекта и достижима только через отверстие люка, имеющего выбранные габаритные размеры: $s \times s$.

Обозначим: $K_{\text{пр}1}$ и $K_{\text{пр}2}$ – границы люка в плоскости xOz ; $K_{\text{пр}1}'$ и $K_{\text{пр}2}'$ – границы люка в плоскости xOy (рис. 6); K_2' и K_2'' – крайние положения начала звена 3 в плоскости xOz ; K_{22}' и K_{22}'' – крайние положения начала звена 3 в плоскости xOy (рис. 6).

Реализация функционального назначения манипулятора связана с достижением исполнительным органом, закрепленным на конце звена 3, целевой точки рабочего пространства $K_{\text{ц}}$ (рис. 5).

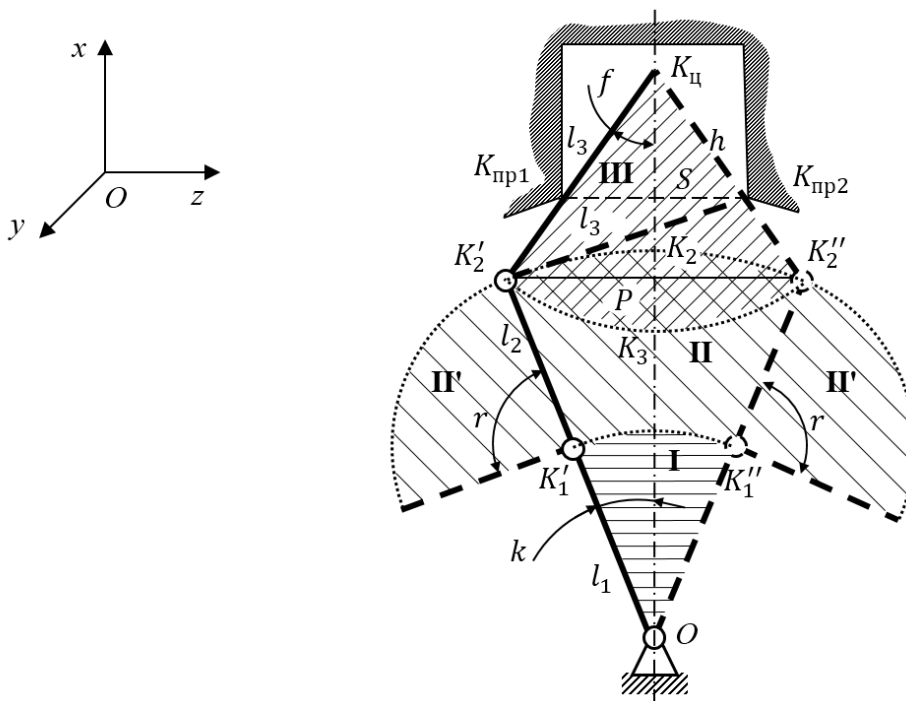


Рис. 5. Распределение зон движения звеньев

Для удобства дальнейших рассуждений введем следующие допущения:

- в плоскости xOz соответствующие точки зон движения звеньев и границ существующего препятствия симметричны относительно общей оси $K_{\text{ц}} - O$, где точка O является основанием манипулятора и, одновременно, началом звена 1;
- длина звеньев определяется расстоянием между центрами шарниров.

Анализ работы манипуляторов позволяет предложить вариант его использования по представленной кинематической схеме в плоскости xOz :

1. Конец звена 1 движется по дуге $K_1'K_1''$, которая соответствует совокупности точек положения начала звена 2.
2. Звено 2 перемещается вместе с концом звена 1 и вращается относительно своего начала. Очевидно, что положение звена 2 соответствует точкам зоны II между дугами $K_2'K_2K_2''$ и

$K_1'K_1''$, а также двум симметрично разнесенным зонам Π' , определяемым разворотом звена на угол r .

3. Конец звена 3 соответствует точке $K_{ц}$, положение его начала в такой постановке соответствует множеству точек дуги $K_2'K_3K_2''$. Естественно, что дуга $K_2'K_3K_2''$ полностью располагается в зоне Π при движении звена 2.

Очевидно, что расположение звеньев 1 и 2 на границах зон по линиям OK_2' и OK_2'' определяет требуемые границы для нахождения точек расположения начала звена 3, «привязанного» к точке $K_{ц}$. При этом считаем, что зоны I и III используются только на пересечении с зоной промежуточного звена 2, т.е. с зоной Π .

Для обхода препятствия звеном 3 необходимо выполнение условия вывода этого звена мимо препятствия из крайних точек траектории движения конца звена 2 (начала звена 3): $K_2'K_{пп2} \leq l_3$ или $K_2''K_{пп1} \leq l_3$. Это условие позволяет считать треугольник $K_2'K_{пп2}K_{ц}$ равнобедренным.

Независимо от длины l_3 звено 3 будет располагаться на луче $K_{ц}K_2'$ (причем конец звена должен совпадать с точкой $K_{ц}$). А в момент прохождения звена 3 мимо препятствия (точка $K_{пп2}$) оно будет располагаться на луче $K_{пп2}K_2'$. Любой разворот звена 3, отличающийся от разворота относительно точки K_2' , приведет к тому, что движение звена 3 будет либо ограничено препятствием, либо при этом не будет обеспечено совпадение характеристической точки манипулятора (конца звена 3) и целевой точки РП (точки $K_{ц}$).

Определим расстояние h от точки $K_{ц}$ до $K_{пп2}$ через расстояние между препятствиями (или внутри препятствия, например, люка) $K_{пп1}K_{пп2} = s$ и угол f :

$$h = \frac{s}{2 \sin f}. \quad (1)$$

Очевидно, что в равнобедренном треугольнике $K_2'K_{пп2}K_{ц}$ угол при вершине $K_{ц}$ равен $2f$. Это позволяет определить проекцию звена 3 на плоскость xOz следующим образом:

$$l_3 = \frac{h}{\sqrt{2(1 - \cos(180 - 4f))}}. \quad (2)$$

Из последнего выражения с учетом формулы (1) получим

$$l_3 = \frac{s}{2 \sin f \sqrt{2(1 - \cos(180^\circ - 4f))}}. \quad (3)$$

Проекция звена 3, определенная по формуле (3), характеризует максимальное значение проекции этого параметра на плоскость xOz , соответствующее его функциональному назначению и позволяющее совершить маневр вывода рабочего органа манипулятора в целевую точку $K_{ц}$ из точки K_2' (или K_2'').

Общая картина расположения звена 3 в плоскости xOy (рис. 6) будет аналогична позиции этого звена на плоскости xOz . При этом длина звена 3 определится по формуле

$$l_3' = \frac{l_3}{\cos f'}. \quad (4)$$

Таким образом, появляется возможность в качестве исходных данных использовать только размер люка приборного отсека и пространственные параметры размещения характеристической точки манипулятора (например, глубины под поверхностью люка).

Отметим, что в кинематической схеме манипулятора, работающего в зоне с препятствиями, условия функционирования влияют, главным образом, только на длину выходного звена. Другие геометрические параметры связаны с конструктивными особенностями самих устройств, а также заданными техническими требованиями к ним. К примеру, на практике

угол k определяется конструктивными особенностями исполнения основания манипулятора, в том числе ограничениями по углу разворота звена 1.

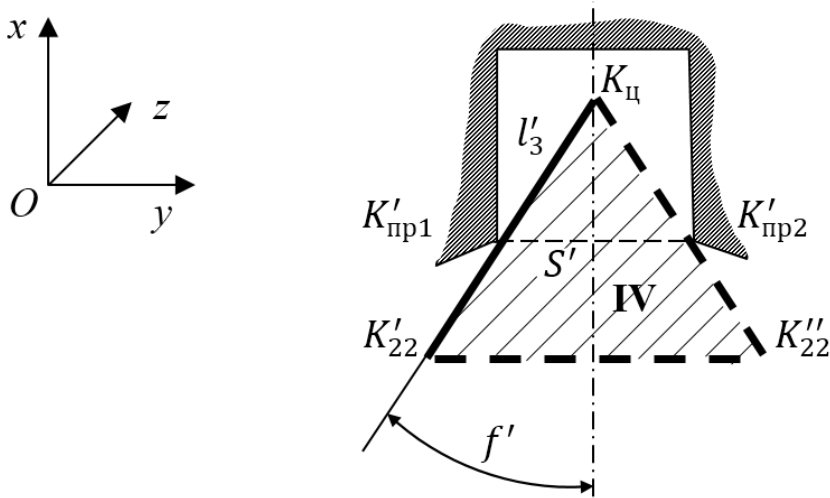


Рис. 6. Размещение звена 3 (плоскость xoy)

Использование значения данного показателя позволяет в первом приближении оценить общую длину звеньев 1 и 2 (рис. 5). Для этого рассмотрим треугольники $K_2'OP$ и $K_2'K_цP$.

Очевидно, что

$$l_1 + l_2 = \frac{K_2'P}{\sin k} = \frac{l_3 \sin f}{\sin k},$$

далее, с учетом формулы (3), получим

$$l_1 + l_2 = \frac{s \sin f}{2 \sin f \sqrt{2(1 - \cos(180^\circ - 4f))} \sin k} = \frac{s}{2 \sin k \sqrt{2(1 - \cos(180^\circ - 4f))}}. \quad (5)$$

Используя формулы (4) и (5), можно получить первоначальные данные для оценки размеров звеньев в плоской конфигурации манипулятора.

Таким образом, при увеличении диапазона угла поворота звена 1 суммарная длина звеньев 1 и 2 уменьшается. При этом, если ось $K_ц - O$ сдвинута от оси люка на величину W (рис. 7), то угол при вершине $K_ц$, естественно, уменьшается. Это обстоятельство позволяет поставить еще одну достаточно правомерную задачу, связанную со снижением запаса манипулятивности выходного звена при разворачивании манипулятора.

Аналогично можно рассматривать вариант наклона оси $K_ц - O$ (рис. 8) относительно оси люка (смещение нижнего шарнира относительно отверстия люка), при котором также уменьшается угол при вершине $K_ц$.

Запас манипулятивности для рабочего пространства с препятствиями можно оценить следующим образом. Определим угол при вершине $K_ц$ как угол, образованный двумя лучами: соответственно $K_цK_{пр1}$ и $K_цK_{пр2}$ (рис. 5); $K_цK_{пр1}$ и $K_цK_2''$ (рис. 7); $K_цK_2'$ и $K_цK_{пр2}$ (рис. 8). Перемещение лучей и связанное с этим уменьшение данного угла снижают возможность проведения манипуляций в пределах угла $K_{пр1}K_цK_{пр2}$, во-первых, относительно крайних точек препятствия, а во-вторых, относительно установленных крайних точек положения звена 2 на траектории его движения.

Уровень манипулятивности для каждого конкретного случая определяется путем сравнения значений угла (рис. 5, 7, 8), образующегося при вершине $K_ц$ при различной реализации

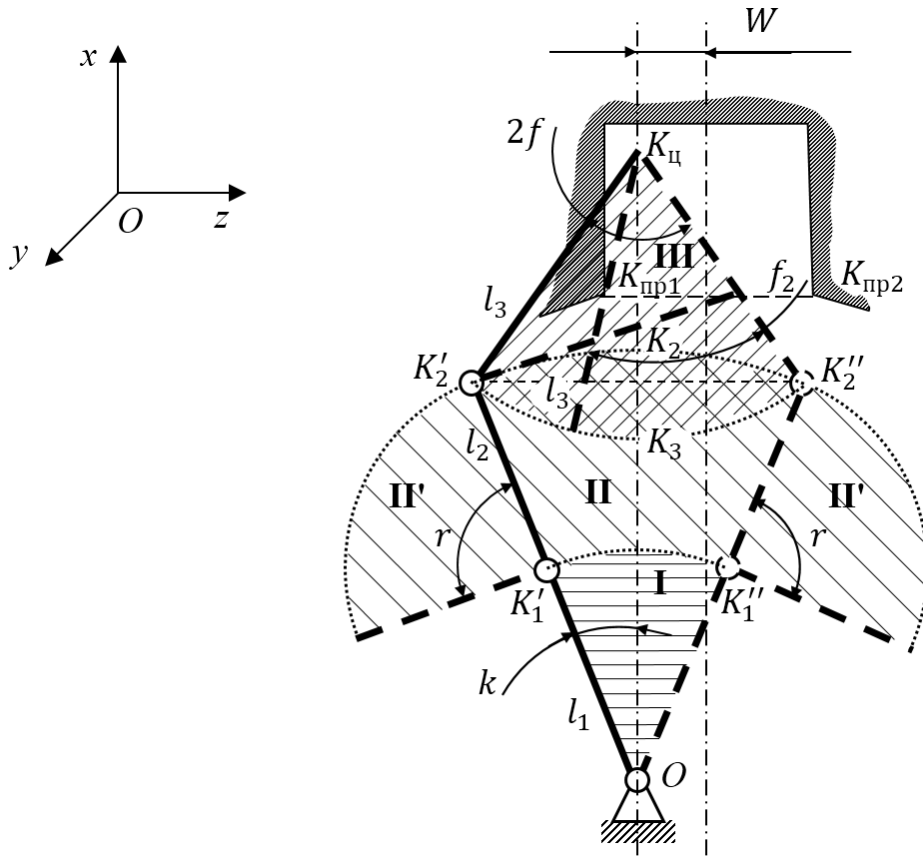


Рис. 7. Смещение нижнего шарнира относительно оси лука

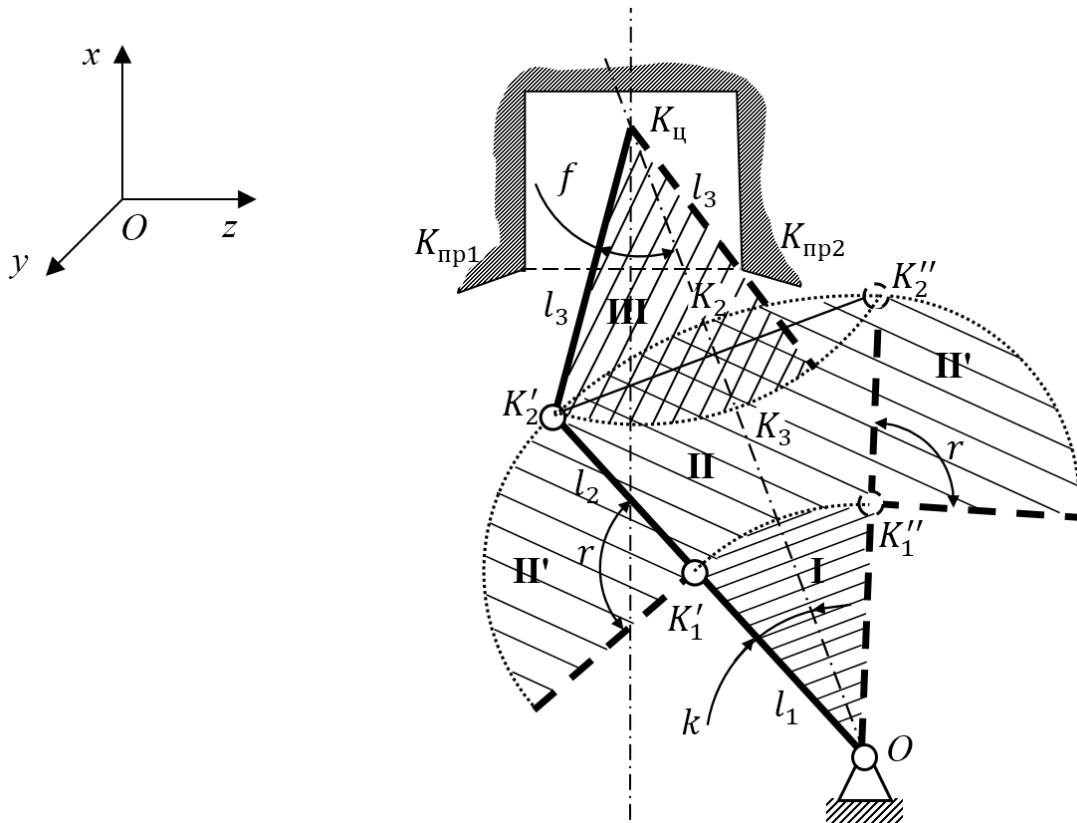


Рис. 8. Смещение нижнего шарнира относительно отверстия лука

положения манипулятора, с углом $K_{\text{пр1}}K_{\text{ц}}K_{\text{пр2}}$ (или, что то же самое, с углом $K_2'/K_{\text{ц}}K_2''$ при симметричном случае размещения опоры манипулятора относительно оси люка). Таким образом, запас манипулятивности можно определить отношением двух параметров: текущего значения угла при вершине $K_{\text{ц}}$ (f_2) и значения этого угла для симметричного случая ($2f$).

Очевидно, что максимальное отношение значений этих углов ($f_2/2f$) равно 1. При этом наибольший запас по манипулятивности достигается в том случае, когда точка размещения основания манипулятора окажется на оси симметрии люка (посередине люка).

Пример расчета. Выполним вычисления, выбрав следующие исходные данные: габариты люка – 0,5 x 0,5 м; отношение половины ширины отверстия люка к глубине расположения целевой точки относительно люка равно 0,58 (угол $f = 30^\circ$).

По формулам (1), (3)–(5) получим следующие расчетные значения геометрических параметров: расстояние $h = 0,35$ м; проекция звена 3 на плоскость xOz составит $l_3 = 0,5$ м; длина звена 3 – $l_3' = 0,58$ м; общая длина звеньев 1 и 2 – $l_1 + l_2 = 0,125$ м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование облика космического манипулятора начинается с учета заложенных в него функциональных задач и накопленной базы данных по созданным к настоящему времени устройствам. Предложенная геометрическая интерпретация позволяет оценить первоначальную структуру и размеры элементов манипулятора, не прибегая при этом к сложным вычислениям и исследованиям.

Реальные размеры манипулятора определяются техническими параметрами (например, углом поворота) шарнирных элементов по обеспечению выполнения всех видов маневров. Расчеты показывают, что в большей степени размеры элементов манипулятора связаны с габаритами отверстия (люка) и угловыми параметрами размещения звена 3.

Предложенные решения позволяют выполнить первоначальную оценку размеров звеньев и показывают, что для манипулятора длина выходного звена должна быть больше суммы длин двух других звеньев. Рассмотренную схему манипулятора (определяет возможность выполнения функциональных перемещений характеристической точки манипулятора) целесообразно использовать при условии, что отношение половины ширины отверстия люка к глубине нахождения этой точки относительно поверхности люка не должно превышать 1 (единицы), что соответствует диапазону значений угла $f < 45^\circ$.

Список используемых источников

1. Средства обеспечения работ с полезным грузом: система бортовых манипуляторов «Аист». – URL: <http://www.buran.ru/html/bighand.htm> (дата обращения: 20.03.2018).
2. Canadarm 2 and the Mobile Servicing System. – URL: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/mss.html (дата обращения: 20.03.2018).
3. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы робототехники: в 2 кн. – М.: Наука, 2006. – Кн. 1. – 383 с.
4. Манипуляционные системы роботов / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес и др.; под общ. ред. А.И. Корендясева. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.
5. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.

Д.Г. Белянин,
кандидат техн. наук;
В.А. Грибакин,
доктор техн. наук, доцент;
А.С. Перфильев,
кандидат техн. наук;
С.Ю. Пирогов,
доктор техн. наук, доцент

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОРАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

На основе анализа тенденций развития современных средств выведения проанализированы тенденции изменения конструктивных особенностей с целью снижения стоимости пуска. В статье на основе технико-экономической модели оценки стоимости пуска ракеты-носителя схемы типа тандем легкого класса рассматриваются эффекты снижения стоимости пуска при повторном использовании отдельных элементов конструкции: ракетного блока 1-й ступени целиком и жидкостного ракетного двигателя 1-й ступени.

Ключевые слова: ракета-носитель, ракетный блок, жидкостный ракетный двигатель.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 2010 года, космонавтика вступила в новую эру, когда идеи снижения стоимости пуска ракет-носителей (РН), достигаемого за счет использования многоразовых элементов, стали реальностью. Впервые идея использования многоразовых элементов в системе выведения полезной нагрузки была реализована в системе *Space Shuttle*. Однако снижение интенсивности грузопотока больших космических аппаратов на орбиту не позволило этой системе выйти на заявленные показатели технико-экономической эффективности. Наоборот, стоимость пуска оказалась очень высокой – более 20000 долл./кг полезного груза на орбиту. Это привело в итоге к свертыванию данной программы.

В настоящее время значительных успехов добилась частная компания предпринимателя Илона Маска *SpaceX*. В линейке своих ракет-носителей *Falcon 9* этой компании удалось успешно реализовать ракетодинамический способ спасения ракетных блоков 1-й и 2-й ступеней. В отличие от многоразовой технологии, применявшейся в США при реализации программы *Space Shuttle*, новая технология позволяет существенно снизить затраты, связанные с поиском и доставкой многоразовых ракетных блоков к местам базирования. Это стало возможным благодаря применению управляемого спуска ступеней за счет использования специальных систем угловой ориентации отделившегося ракетного блока, а также за счет применения ракетодинамического торможения с использованием маршевой двигательной установки и запаса топлива в основных топливных отсеках ракетного блока.

Схема спасения ступеней РН *Falcon 9 Heavy* представлена на рис. 1

Проводя политику сохранения конкуренции в ракетно-космической отрасли, руководство США в настоящее время активно финансирует конкурентный проект создания сверхтяжелой РН *Vulkan*. Эта РН предназначена в первую очередь для решения задач доставки космических аппаратов массой 6-7 т на геостационарную орбиту (ГСО). Как видно из графика на рис. 2, этот сегмент пусковых услуг остается в настоящее время одним из наиболее финансово емких.

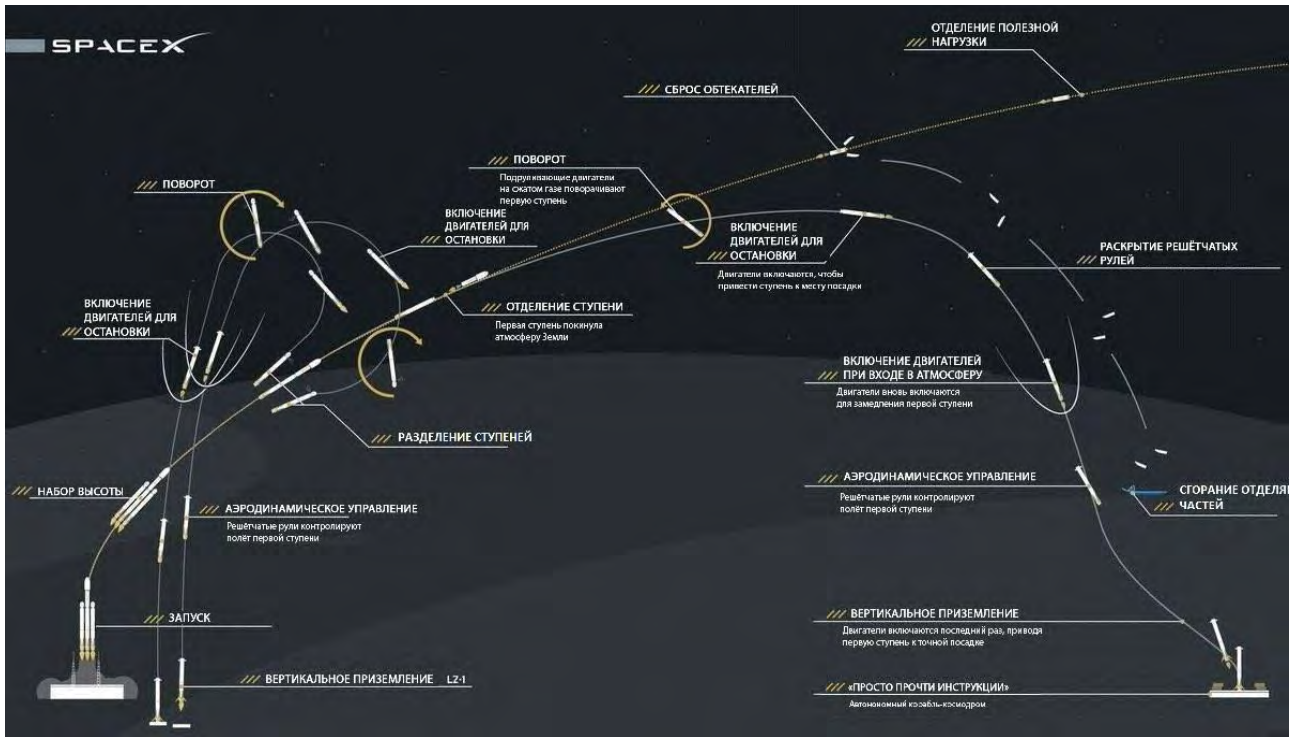


Рис.1. Схема спасения ступеней FH Falcon 9 Heavy

Предполагается, что отличительной особенностью новой ракеты станет система спасения двигателей 1-й ступени. Эта технология восходит своими корнями к технологии сброса хвостового отсека и двигателей на баллистических ракетах *Atlas* первого поколения. Конструктивной особенностью ракет *Atlas* являлся сброс хвостовой юбки (1-й ступени) со стартовыми ЖРД спустя примерно 2 мин после старта (спустя 3 с после отсечки их тяги). Подобная так называемая «полуступенчатая» схема была принята американскими конструкторами вынужденно, в силу отсутствия данных по вопросам запуска ЖРД в вакууме, в условиях невесомости и знакопеременных нагрузок. Вместе с тем данная технология позволила американским конструкторам отработать надежные схемы разделения магистралей и систем ЖРД от корпуса ракеты.



Рис.2. Финансовая емкость сегментов рынка пусковых услуг

В перспективной РН предполагается использовать сброс и спасение хвостового отсека и 2-маршевых ЖРД ВЕ-4, установленных в двигательном отсеке. По мнению разработчиков, это позволит в 2 раза удешевить стоимость пуска при 10-кратном использовании ЖРД. После отделения от ракетного блока предполагается, что хвостовой отсек с ЖРД будет осуществлять управляемый полет в атмосфере. Для торможения и защиты от аэродинамического нагрева предполагается использовать сбрасываемый надувной экран. Далее спуск осуществляется с использованием парашютной системы. Спасение многоразовых двигателей предполагается осуществлять путем подхвата с помощью вертолета. Схема спасения двигателей и хвостового отсека перспективной РН *Vulcan* представлена на рис.3.

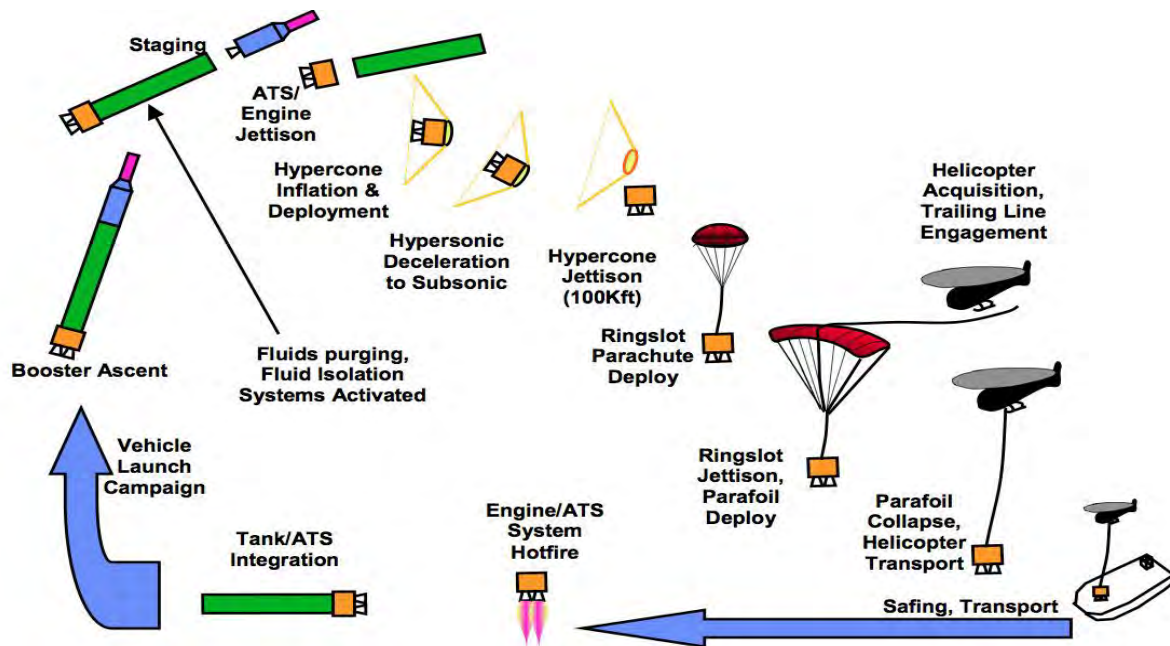


Рис.3. Схема спасения двигателей ракеты-носителя *Vulcan*

Несмотря на громкие заявления, эффективность применения многоразовых элементов в ракетных блоках по-прежнему является спорной. Внятные и достоверные технико-экономические оценки отсутствуют, а объем применяемых технологических операций для подготовки уже ранее использованных элементов ракетных блоков или ракетных блоков в целом до сих пор остается неизвестным.

МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОРАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

В Российской Федерации наблюдается тенденция роста стоимости пуска российских РН с темпом, превышающим рост стоимости пуска зарубежных РН. Зарубежные компании разрабатывают проекты новых средств выведения различного класса со значительным снижением уровня стоимостных показателей, в связи с чем позиции России могут быть значительно ослаблены. Для сохранения позиций на рынке пусковых услуг в отношении российских перспективных средств выведения уже на этапе проектных работ должны приниматься технические решения, обеспечивающие лучшие по сравнению с зарубежными образцами экономические показатели [1, 2].

Таким образом, перспективные РН, авиационно-космические системы и многоразовые ракетно-космические системы должны обладать по сравнению с эксплуатируемыми РН более низкой удельной стоимостью выведения полезного груза.

Предлагается провести исследования по оценке влияния повторного использования возвращаемой 1-й ступени и возвращаемой двигательной установки (ДУ) без бакового отсека на удельную стоимость выведения полезного груза.

Основными исходными данными являлись технико-экономические показатели РН легкого класса «Ангара 1.2», взятые из открытых источников. Эти данные приведены в табл. 1

Таблица 1

Исходные данные для выполнения технико-экономических расчетов

| № п/п | Параметр | Значение параметра |
|-------|---|--------------------|
| 1 | Стартовая масса РН, т | 171 |
| 2 | Масса полезного груза, выводимого на низкую околоземную орбиту, т | 3,4 |
| 3 | Стоимость РН (без стоимости КА, включает в себя цену подготовки к пуску), млн. руб. | 800 |
| 4 | Стоимость подготовки к каждому пуску РН (без цены топлива), включающая транспортирование, сборку в МИКе и т.д., млн. руб. | 100 |
| 5 | Относительная стоимость каждого послепускового обслуживания ЖРД, % от стоимости двигателя | 9 |
| 6 | Цена 1 кг ДУ 1-й ступени, руб./кг | 58602 |
| 7 | Цена 1 кг ДУ 2-й ступени, руб./кг | 100000 |
| 8 | Цена 1 кг баковых отсеков 1-й ступени, руб./кг | 5000 |
| 9 | Цена 1 кг баковых отсеков 2-й ступени, руб./кг | 5000 |
| 10 | Цена 1 кг небактовых отсеков 1-й ступени, руб./кг | 100000 |
| 11 | Цена 1 кг небактовых отсеков 2-й ступени, руб./кг | 100000 |
| 12 | Цена 1 кг кислорода, руб./кг | 8 |
| 13 | Цена 1 кг керосина, руб./кг | 37 |
| 14 | Относительная масса ДУ 1-й ступени (относительно полной массы РН) | 0,054 |
| 15 | Относительная масса ДУ 2-й ступени | 0,00304 |
| 16 | Относительная масса баковых отсеков 1-й ступени | 0,03128 |
| 17 | Относительная масса баковых отсеков 2-й ступени | 0,0215 |
| 18 | Относительная масса небактовых отсеков 1-й ступени | 0,001 |
| 19 | Относительная масса небактовых отсеков 2-й ступени | 0,001 |
| 20 | Относительная масса керосина 1-й ступени | 0,1978 |
| 21 | Относительная масса керосина 2-й ступени | 0,04 |
| 22 | Относительная масса кислорода 1-й ступени | 0,534 |
| 23 | Относительная масса кислорода 2-й ступени | 0,108 |

Математическая зависимость, описывающая влияние многократного использования двигательной установки 1-й ступени на стоимость выведения 1 кг полезного груза на базовую орбиту, получена с использованием массового уравнения ракет тандемной схемы с ЖРД [3, 4]:

$$C = \frac{1}{k} \left(C_{ДУ1} m_{ДУ1} \left(\frac{1}{n} + b \right) + C_{\text{б}01} m_{\text{б}01} + C_{\text{н}01} m_{\text{н}01} \left(\frac{1}{n} + b \right) + C_{\text{O}} m_{\text{O}1} + C_{\text{T}} m_{\text{T}1} + C_{ДУ2} m_{ДУ2} + \right. \\ \left. + C_{\text{б}02} m_{\text{б}02} + C_{\text{н}02} m_{\text{н}02} + C_{\text{O}} m_{\text{O}2} + C_{\text{T}} m_{\text{T}2} + \frac{C_{\text{ПУ}}}{M_{\text{РН}}} \right), \quad (1)$$

- где
- C – стоимость запуска 1 кг полезного груза на низкую околоземную орбиту;
 - k – коэффициент конструктивного совершенства;
 - n – количество пусков;
 - b – коэффициент, учитывающий стоимость послеполетного обслуживания двигательной установки 1-й ступени;
 - $M_{РН}$ – стартовая масса РН, кг;
 - $C_{ПУ}$ – цена пусковых услуг (без стоимости РН), руб.;
 - $C_{ДУ1}$ – цена 1 кг ЖРД 1-й ступени, руб./кг;
 - $C_{ДУ2}$ – цена 1 кг ЖРД 2-й ступени, руб./кг;
 - $C_{б01}$ – цена 1 кг баковых отсеков 1-й ступени, руб./кг;
 - $C_{б02}$ – цена 1 кг баковых отсеков 2-й ступени, руб./кг;
 - $C_{нб1}$ – цена 1 кг небаковых отсеков 1-й ступени, руб./кг;
 - $C_{нб2}$ – цена 1 кг небаковых отсеков 2-й ступени, руб./кг;
 - C_O – цена 1 кг кислорода, руб./кг;
 - C_T – цена 1 кг керосина, руб./кг;
 - $m_{ДУ1}$ – относительная масса ЖРД 1-й ступени (относительно полной массы РН);
 - $m_{ДУ2}$ – относительная масса ЖРД 2-й ступени;
 - $m_{б01}$ – относительная масса баковых отсеков 1-й ступени;
 - $m_{б02}$ – относительная масса баковых отсеков 2-й ступени;
 - $m_{нб1}$ – относительная масса небаковых отсеков 1-й ступени;
 - $m_{нб2}$ – относительная масса небаковых отсеков 2-й ступени;
 - m_{T1} – относительная масса керосина 1-й ступени;
 - m_{T2} – относительная масса керосина 2-й ступени;
 - m_{O1} – относительная масса кислорода 1-й ступени;
 - m_{O2} – относительная масса кислорода 2-й ступени;

Технико-экономические затраты на пуск РН оценивались из условий многократного применения маршевого ЖРД 1-й ступени и 1-й ступени РН в целом [5].

Результаты расчетов показаны на рис.4–7. Расчеты проводились как в рублях, так и в долларах США, пересчитанных по курсу 60 руб./долл.

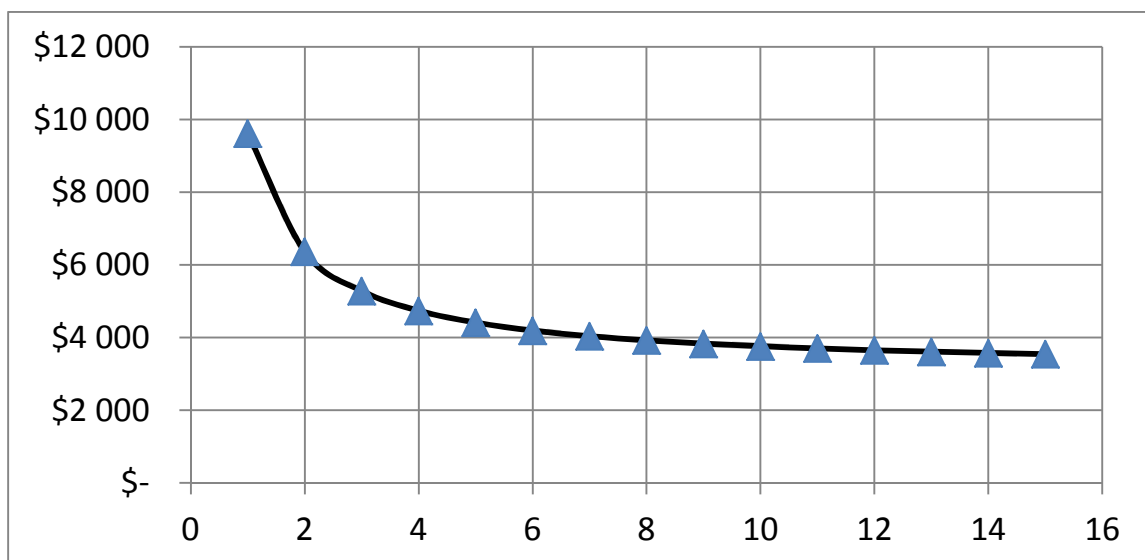


Рис. 4. Зависимость стоимости (в долларах США) выведения 1 кг полезной нагрузки на низкую околоземную орбиту от количества кратности применения ДУ 1-й ступени

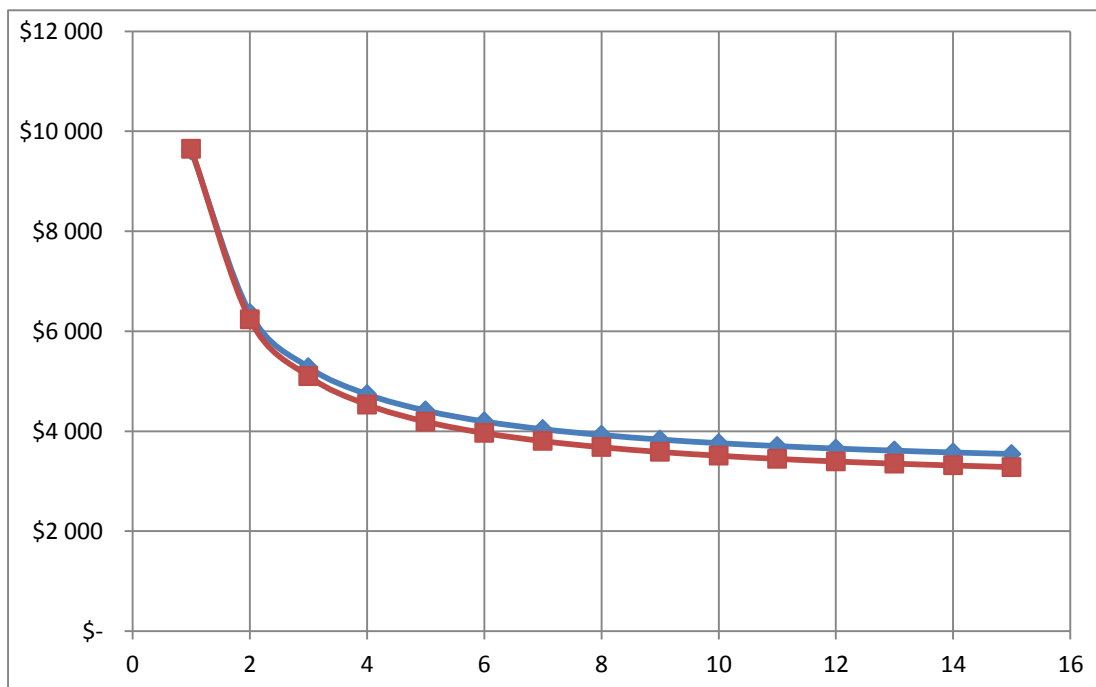


Рис.5. Сравнение стоимости (в долларах США) выведения 1 кг полезной нагрузки на низкую околоземную орбиту при повторном использовании:

—■— 1-й ступени РН; —◆— ЖРД 1-й ступени

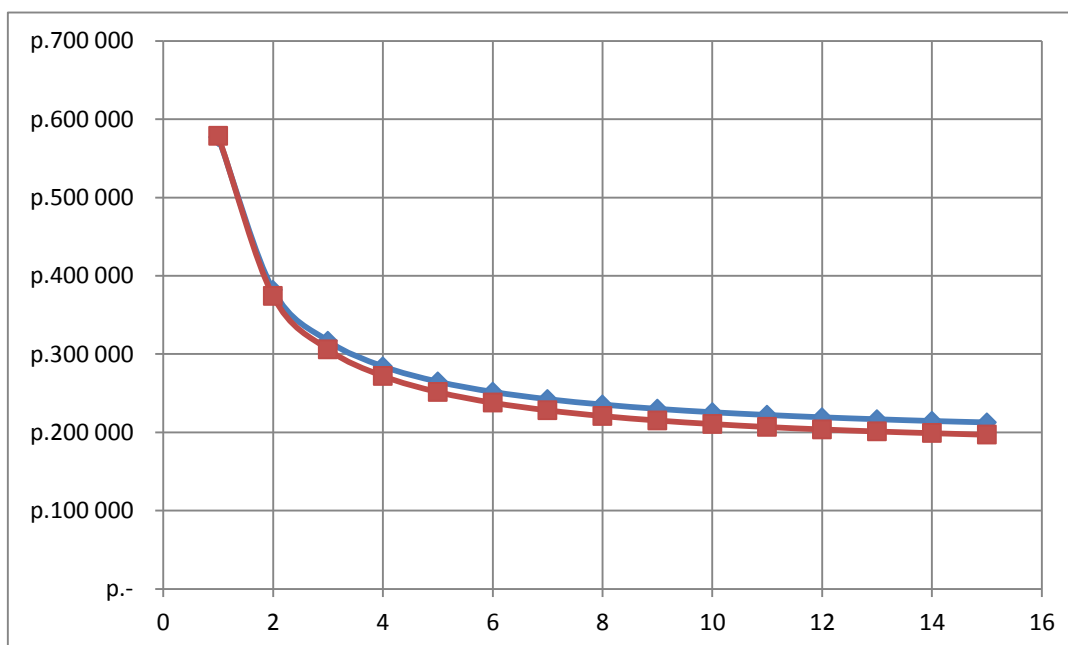


Рис. 6. Сравнение стоимости (в рублях РФ) выведения 1 кг полезной нагрузки на низкую околоземную орбиту при повторном использовании:

—■— 1-й ступени РН; —◆— ЖРД 1-й ступени

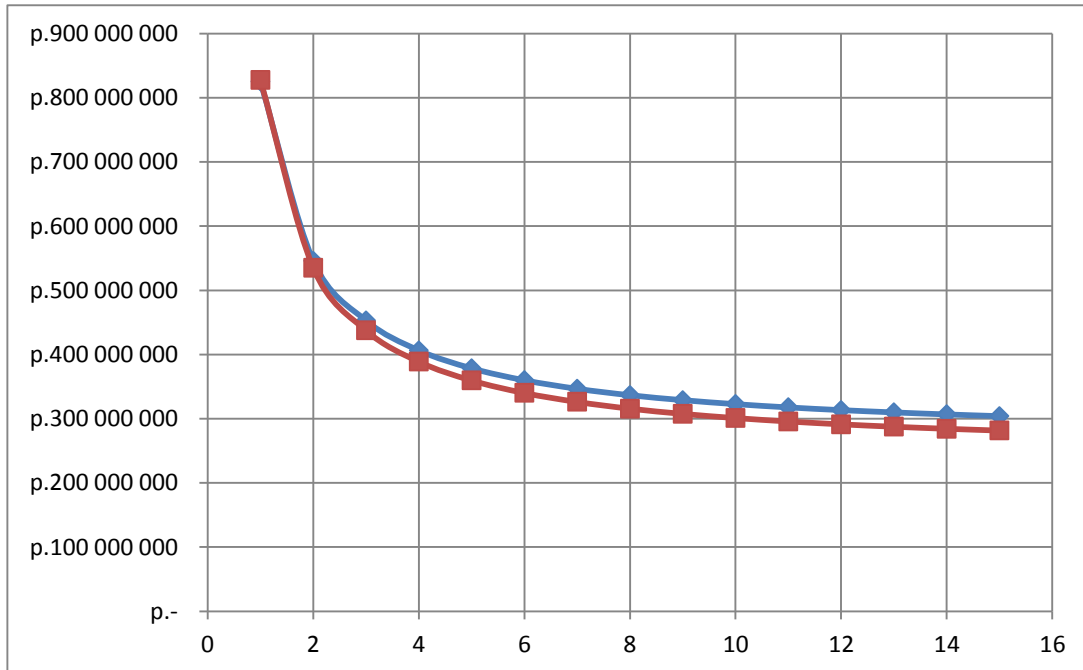


Рис. 7. Сравнение цены пуска (в рублях РФ) РН (стоимость РН, топливо и пусковые услуги) при повторном использовании:

—■— — 1-й ступени РН; —◆— — ЖРД 1-й ступени

Из графиков, представленных на рис. 4–7, видно, что в рамках рассмотренной модели, действительно, спасение и повторное использование ракетного блока 1-й ступени РН позволяют в 2 раза снизить стоимость пуска. В случае более высокой стоимости двигателей этот эффект может оказаться еще выше (например, для перспективной РН *Vulkan*) [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения технико-экономических расчетов показано, что стоимость выведения 1 кг полезного груза на базовую орбиту высотой 200 км при многократном использовании (5–7 раз) ДУ или 1-й ступени полностью может снизиться с 10 000 до 4 000 долл. США. Экономической целесообразности спасения 1-й ступени целиком нет, так как стоимость ЖРД 1-й ступени может составлять до 50% от стоимости всей РН.

Использовать возвращаемые элементы более 10 раз не представляется целесообразным, так как стоимость послеполетного обслуживания ДУ может возрасти до стоимости нового изделия, на данный момент этот эффект в математической модели не учитывается.

Список используемых источников

1. Советкин Ю.А., Щербина Д.В. Оценка технико-экономической эффективности разработки ракет-носителей с многоразовыми блоками первых ступеней // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2010. – № 1 (21). – С. 91–96.

2. *Сидорова Е.С., Прокопович Д.А.* Перспективы развития космической перевозки с использованием многоразовых ракет-носителей // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – Т. 2, № 11. – С. 890–891.
3. *Шилимов В.Ф., Плясунов А.А.* Проектирование ракет: учеб. пособие. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1982. – Вып. 1: Энергомассовый анализ ракет. – 118 с.
4. *Нинкович Д., Вукашинович В.* Перспективы проектирования и производства малобюджетных ракет-носителей // Исследования наукограда. – 2013. – № 2 (4). – С. 36–42.
5. *Сейдагалиев М.К., Абильдаева К.Ж., Генаев Р.В.* Способ удешевления пусков семейства РН «Ангара» путем повторного использования двигателя первой ступени // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 52. – С. 121–128.

А.Е. Воронин;
Н.Е. Пешехонов,
кандидат техн. наук, доцент

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Рассмотрены вопросы распределения требований к надежности специального объекта с целью обоснования требований к надежности системы электроснабжения. Проанализированы основные методические подходы к распределению требований к надежности с учетом различных исходных данных. Описаны основные этапы определения значимости систем специального объекта функционально-топологическим методом, который применяется в условиях ограниченных исходных данных. Представлена математическая модель распределения требований к надежности специального объекта между его системами в зависимости от их степени значимости.

Ключевые слова: распределение требований к надежности, показатель надежности, значимость систем специального объекта, функциональные исследования.

ВВЕДЕНИЕ

В составе современных специальных объектов (СО) имеется большое количество высоко-технологического оборудования, электронно-вычислительных машин и других электроприемников, предъявляющих повышенные требования к надежности и качеству электроснабжения. Отказ системы электроснабжения (СЭС) означает отказ СО в целом и поэтому СЭС относится к числу систем СО, которые оказывают влияние на выходной эффект объекта. Эти обстоятельства делают требования к надежности электроснабжения одними из главных требований, предъявляемых к СЭС СО.

В настоящее время к надежности функционирования СО предъявляют количественные требования, т. е. требования задаются показателем надежности (ПН), который учитывает одно или несколько свойств, составляющих надежность функционирования СО (безотказность, долговечность, сохраняемость, готовность, ремонтпригодность или восстанавливаемость). Но заданные требования к надежности СО не учитывают уровень надежности СЭС.

К СЭС вновь создаваемых СО также предъявляются требования к надежности, но они являются качественными и задаются в соответствии с [1]. Качественные требования заключаются в том, что СО должен обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания от другого источника. Данные требования не предусматривают количественной оценки уровня надежности СЭС и не дают возможности осуществить проверку соответствия ПН СЭС требуемому значению, необходимому для надежного функционирования СО.

Таким образом, существующий двойной подход задания требований к надежности СО количественными характеристиками, а к СЭС – качественными, является некорректным.

В соответствии с нормативными документами [2, 3] требования к надежности СО и к составляющим его системам необходимо задавать ПН, который должен учитывать основные признаки, характеризующие СО в целом (режим функционирования, вид назначения, восстанавливаемость и др.)

Для корректного задания требований к надежности СО необходимо решить задачу по обоснованию требований к надежности каждой системы СО, в том числе и к СЭС, оказывающей влияние на выходной эффект.

ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ МЕЖДУ СИСТЕМАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

В условиях, когда заданы требования к надежности СО в целом, необходимо рационально распределить общие требования к надежности систем СО. Выполнить это нужно так, чтобы общая надежность СО была не менее заданной.

Исходными данными для распределения требований к надежности могут быть [4]:

– априорные данные о надежности объектов-аналогов, составных частей и комплектующих изделий рассматриваемого СО по опыту их применения в аналогичных или близких условиях;

– ПН составных систем СО, полученные экспериментальным или расчетным способом непосредственно в процессе разработки (изготовления, эксплуатации) рассматриваемой системы и ее составных частей;

– справочные данные по надежности элементов, из которых состоят системы СО;

– функция зависимости экономических показателей СО от надежности систем, входящих в его состав и т. д.

Таким образом, решая вопрос относительно распределения усилий по обеспечению надежности отдельных систем СО в целях достижения заданной надежности СО, необходимо знать, какая система СО наиболее значимая, а какая – менее значимая. Иначе говоря, необходимо знать, какое влияние оказывает на общую надежность СО отказ той или иной ее системы.

В зависимости от наличия тех или иных исходных данных существуют различные методы распределения заданных требований к надежности СО между ее системами.

Предположим, что требования к надежности СО заданы вероятностью безотказной работы ($P_{\text{треб.}}$). В качестве исходных данных есть возможность использовать статистические данные об отказах подобных систем (аналогов), используемых в СО, близких по назначению. В этом случае статистические данные об отказах аналогичных систем можно представить в виде весовых коэффициентов α_i :

$$\alpha_i = \frac{m_i}{m_o}, \quad (1)$$

где m_i – число отказов i -й системы СО;

m_o – общее число отказов СО.

Для весовых коэффициентов должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad (2)$$

где n – число систем, входящих в состав СО.

Тогда вероятность безотказной работы i -й системы СО p_i можно определить из следующего выражения [5]:

$$p_i = 1 - \alpha_i(1 - P_{\text{треб.}}). \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет определить требования к надежности каждой системы СО по заданному значению и статистическим данным с учетом частоты отказов аналогов.

Если в качестве исходных данных известны функция зависимости экономических показателей СО $C_i(p_i)$ и функция зависимости ПН СО $P_c(p_i)$ от надежности входящих в нее систем, то в этом случае распределить требования к надежности СО между его системами можно путем решения оптимизационной задачи при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} P_c(p_i) \rightarrow P_{\text{треб.}}; \\ C_i(p_i) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (4)$$

Применение данного метода существенно затрудняется из-за отсутствия полных данных по зависимостям $C_i(P_i)$, что является его основным недостатком.

Одним из простейших способов распределения требований к надежности СО между его системами является метод равномерного распределения ресурсов по надежности при условии последовательного соединения элементов в структурной схеме надежности. Данный метод основан на принципе равнонадежности [6], который определяется выражением

$$p_i = \sqrt[n]{P_{\text{треб.}}} \quad (5)$$

где n – число систем, входящих в состав СО.

Данный метод позволяет распределить требования к надежности по i -м системам СО так, чтобы общий ПН был не ниже требуемого значения ($P_{\text{треб.}}$):

$$P_{\text{треб.}} \leq \prod_{i=1}^n p_i \quad (6)$$

Идея принципа равнонадежности заключается в том, что любой СО должен состоять из равнозначных систем, т. е. задаются одинаковые требования к надежности без учета степени трудности ее достижения.

Из рассмотренных методов распределения требований к надежности СО между его системами выбирается тот, который соответствует тем или иным исходным данным.

Как известно, в настоящее время реализуется государственная программа вооружения, в соответствии с которой принимают на эксплуатацию СО нового поколения. В данной ситуации для распределения требований к надежности СО между его системами использовать, например, данные о надежности систем-аналогов не представляется возможным, ввиду отсутствия таких СО или небольшого срока их эксплуатации.

Таким образом, решая задачу распределения требований к надежности в условиях ограниченных исходных данных, необходимо применить другие методы, которые позволят обосновать требования к надежности системы по ее значимости в составе СО.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД

Одним из методов определения значимости систем СО в условиях ограниченных исходных данных является функционально-топологический метод [7]. Данный метод дает возможность определить степень значимости каждой системы СО путем проведения функциональных исследований. Суть метода заключается в следующем. На начальном этапе проводится детальный анализ процесса функционирования СО. В процессе анализа выделяется из множества систем Y , участвующих в процессе функционирования СО, подмножество систем X , которые оказывают влияние на выходной эффект:

$$X \subset Y \quad (7)$$

где $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

В дальнейшем рассматриваются только элементы множества X , т. е. системы, оказывающие влияние на выходной эффект.

По результатам детального анализа процесса функционирования СО строится функциональная схема рассматриваемого СО (рис. 1,а) и ориентированный граф функциональной схемы СО (рис. 1,б).

На рис. 1,б приняты следующие обозначения: \odot^i – вершины графа; x_{12} – ребра графа.

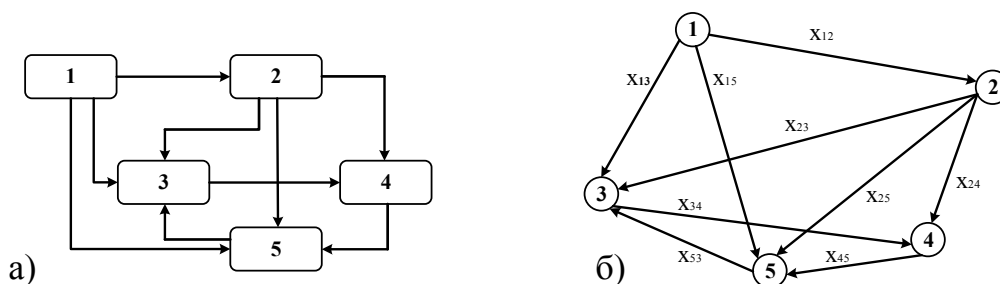


Рис. 1. Функциональная схема СО (а) и ориентированный граф функциональной схемы СО (б)

На основе построенного графа (рис. 1,б) составляется матрица функциональных связей A :

$$A = \begin{pmatrix} 0 & x_{12} & x_{13} & 0 & x_{15} \\ 0 & 0 & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ 0 & 0 & 0 & x_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{45} \\ 0 & 0 & x_{53} & 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{8}$$

Строки и столбцы матрицы A нумеруются в соответствии с номерами вершин графа. При оценке значимости систем СО по функциональным свойствам на месте ij -го элемента матрицы ставится коэффициент влияния [7], который указывает степень влияния данной систем СО на другие системы, с которыми она связана.

В случае, когда степень влияния неизвестна, на месте ij -го элемента матрицы ставится единица. Это означает лишь то, что i -тая система СО влияет на работоспособность j -й. В том случае, когда степень влияния можно охарактеризовать, то в соответствующей клетке матрицы ставится количественное значение этого коэффициента (8). Ноль означает отсутствие связи и, следовательно, отсутствие влияния этой системы СО на другие системы.

Для определения значимости систем СО вводится количественный показатель – ранг системы СО R_i , при сравнении рангов определяется значимость каждого для системы СО. При этом сумма величин рангов должна быть равна 1.

Так как функционально-топологический метод применяется только в радиоэлектронике, то авторам удалось адаптировать данный метод для оценки значимости любых сложных систем. После доработки функционально-топологический метод стал обладать возможностью учитывать при определении значимости не только функциональные связи между системами СО, но и уровень надежности каждой системы СО в условиях ограниченных исходных данных.

Следующим этапом после определения величины ранга каждой системы СО является распределение требований к надежности по i -м системам СО с учетом их значимости.

В [7] предлагается метод, с помощью которого распределяются ресурсы по надежности для случая, когда требования заданы к надежности СО только интенсивностью отказов. Распределение требований к надежности, согласно данному методу, сводится к трудоемким вычислениям.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Так как в тактико-технических заданиях на создание современных СО согласно [2, 3] требования к надежности задаются вероятностью безотказной работы, коэффициентом готовно-

сти или коэффициентом оперативной готовности, то наибольшую ценность будут иметь те математические модели, которые распределяют требования, заданные не только единичными, но и комплексными ПН.

Авторы предлагают использовать следующую математическую модель распределения требований к надежности СО по его системам с учетом их значимости. Пусть требования к СО заданы единичным показателем надежности – интенсивностью отказов, которую необходимо распределить по системам СО, тогда интенсивность отказов должна быть распределена в отношении, обратном пропорциональному величине рангов, т. е. чем выше у системы СО ранг, тем меньшей интенсивностью отказов она должна обладать. Учитывая это требование, можно выразить все интенсивности отказов через опорное значение λ_0 :

$$\lambda_i = \frac{R_{\max}}{R_i} \cdot \lambda_0, \quad (9)$$

где R_{\max} – ранг с наибольшим значением, выбранный из общего множества рангов;
 R_i – ранг i -й системы СО;
 λ_i – интенсивности отказов i -й системы СО;
 λ_0 – опорное значение интенсивности отказов.

Допустим, что функция надежности СО имеет следующий вид:

$$P_{\text{co}} = a_1 p_1 + a_2 p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 - a_3 p_1 \cdot p_4. \quad (10)$$

Тогда функцию надежности СО (10) можно представить в виде функции, выраженной через интенсивности отказов i -х систем СО. Это можно сделать следующим образом. Из теории надежности известно, что средняя наработка до отказа (T_{cp}) СО вычисляется по следующему общему правилу [8]:

$$T_{\text{cp}} = \int_0^{\infty} P_{\text{co}}(t) dt, \quad (11)$$

где T_{cp} – средняя наработка до отказа СО.

После интегрирования функции надежности (10) по правилу (11) получим, что

$$T_{\text{cp}} = \frac{a_1}{\lambda_1} + \frac{a_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} - \frac{a_3}{\lambda_1 + \lambda_4}. \quad (12)$$

Выражение (12) справедливо только для экспоненциального закона распределения отказов. В функцию надежности СО (12), выраженную через среднюю наработку до отказа, следует подставить формулу для определения интенсивности отказов i -х систем СО (9):

$$T_{\text{cp}} = \frac{a_1}{\frac{R_{\max}}{R_1} \cdot \lambda_0} + \frac{a_2}{\frac{R_{\max}}{R_1} \cdot \lambda_0 + \frac{R_{\max}}{R_2} \cdot \lambda_0 + \frac{R_{\max}}{R_3} \cdot \lambda_0} - \frac{a_3}{\frac{R_{\max}}{R_1} \cdot \lambda_0 + \frac{R_{\max}}{R_4} \cdot \lambda_0}. \quad (13)$$

Тогда опорное значение интенсивности отказов λ_0 будет иметь вид

$$\lambda_0 = \frac{1}{T_{\text{cp}}} \cdot \frac{1}{R_{\max}} \cdot \left(\frac{a_1}{\frac{1}{R_1}} + \frac{a_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} - \frac{a_3}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4}} \right). \quad (14)$$

Выражение (14) можно представить в общем виде:

$$\lambda_0 = \frac{1}{T_{\text{cp}}} \cdot \frac{1}{R_{\max}} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{a_j}{\sum_{\forall (z_i \in Z_j)} z_i^{-1}}. \quad (15)$$

Последний множитель соотношения (15) будет является функционалом надежности СО, выраженным через ранги систем СО, т. е. мы получим функцию, которая зависит от вида функции надежности СО:

$$f(R) = \sum_{j=1}^k \frac{a_j}{\sum_{\forall(z_i \in Z_j)} z_i^{-1}}, \quad Z_j = \{R_i\}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (16)$$

где k – число слагаемых в функционале надежности СО;
 j – номер слагаемого функционала надежности СО;
 a_j – коэффициент при j -м слагаемом функционала надежности СО;
 z_i – i -й элемент множества Z_j ;
 Z_j – множество значений рангов, входящих в j -е слагаемое функционала надежности СО;
 R_i – ранг i -й системы СО;
 N – число систем, входящих в СО.

Если полученное выражение (15) подставим в (9), предварительно заменив среднюю наработку до отказов на интенсивность отказов по известному выражению

$$\lambda_{\text{со}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}}, \quad (17)$$

то получим математическую модель распределения требований к надежности СО, заданных интенсивностью отказов ($\lambda_{\text{со}}$):

$$\lambda_i = \lambda_{\text{со}} \cdot \frac{1}{R_i} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{a_j}{\sum_{\forall(z_i \in Z_j)} z_i^{-1}}, \quad (18)$$

где λ_i – интенсивность отказов i -й системы СО.

Аналогично были получены другие математические модели для распределения требований к надежности СО по системам с учетом их рангов.

Математическая модель распределения требований к надежности СО, заданных вероятностью безотказной работы ($P_{\text{со}}$) имеет вид

$$p_i = e^{(\ln P_{\text{со}}) \cdot \frac{1}{R_i} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{a_j}{\sum_{\forall(z_i \in Z_j)} z_i^{-1}}}, \quad (19)$$

где p_i – вероятность безотказной работы i -й системы СО.

Математическая модель распределения требований к надежности СО, заданных коэффициентом готовности ($K_{\text{гсо}}$) имеет вид:

$$K_{\text{г}i} = \left(1 + \frac{T_{\text{в}i} (1 - K_{\text{гсо}}) \cdot \frac{1}{R_i} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{a_j}{\sum_{\forall(z_i \in Z_j)} z_i^{-1}}}{T_{\text{всо}} \cdot K_{\text{гсо}}} \right)^{-1}, \quad (20)$$

где $K_{\text{г}i}$ – коэффициент готовности i -й системы СО;
 $T_{\text{всо}}$ – среднее время восстановления СО;
 $T_{\text{в}i}$ – среднее время восстановления i -й системы СО.

Так как коэффициент оперативной готовности ($K_{\text{ор}}$) определяется вероятностью безотказной работы и коэффициентом готовности:

$$K_{\text{ор}} = K_{\text{г}} \cdot P(t), \quad (21)$$

то распределить требования к надежности СО, заданных коэффициентом оперативной готовности, можно с помощью выражений (19) и (20).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные математические модели (18) – (20) позволяют распределять требования к надежности СО между его системами, заданные не только единичными ПН, но и комплексными. Математические модели учитывают степень значимости каждой системы СО, полученную с помощью адаптированного авторами функционально-топологического метода, а также позволяют распределять требования к надежности в соответствии с функцией надежности рассматриваемого СО. Полученные математические модели способствуют решению задачи, которая заключается в задании требований к надежности СЭС путем распределения заданных требований к надежности СО по составляющим его системам.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок. – СПб.: ДЕАН, 2011. – 7-е изд. – 1168 с.
2. ГОСТ 27.003 – 2016 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – М.: Издательство стандартов, 2017. – 13 с.
3. ГОСТ 27.3.01 – 2005 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований к надежности. – М.: Издательство стандартов, 2006. – 30 с.
4. ГОСТ 27.301 – 1995 Надежность в технике. Расчет надежности. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 10 с.
5. *Маслов А.Я., Слюбаров В.З., Дедиков Е.М.* Надежность радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов. – МОСССР, 1982. – Ч. 2. – 154 с.
6. *Пешехонов Н.Е.* Обоснование требований к надежности систем электроснабжения специальных объектов // Сборник докладов круглого стола Международного военно-технического форума «АРМИЯ – 2016». – Балашиха: ВА РВСН им. Петра Великого, 2016. – С. 22 – 28.
7. *Нечипоренко В.И.* Структурный анализ систем (эффективность и надежность). – М.: Сов. радио, 1977. – 256 с.
8. *Острейковский В.А.* Теория надежности: учеб. пособие для вузов – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.

В.И. Гера,
доцент, кандидат техн. наук;
Е.В. Калмыков;
Р.А. Мосягин,
кандидат политических наук

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА РАСЧЕТОВ ПОДДЕРЖАНИЯ В ГОТОВНОСТИ ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При создании сложных организационно-технических систем и завершении формирования облика их технических и функциональных структур возникает задача формирования организационной структуры, которая будет реализовывать технологический процесс на объекте. Решению такого рода задачи посвящена данная публикация. Авторы предлагают алгоритм, позволяющий определить такой оптимальный по количеству и квалификации состав расчета, который выполнит эксплуатационные мероприятия за минимальное время. Задача формирования организационной структуры может возникать не только при вводе в эксплуатацию новых объектов, но и при выполнении внеплановых работ, перевооружении объекта, когда возникает несоответствие между имеющимися квалификационными структурами персонала и сложностью выполняемых работ и требуется оптимально распределить и переподготовить рабочих по уровню квалификации.

Ключевые слова: техническое обслуживание, устройство, распределение специалистов, квалификация, технологический график.

При формировании (моделировании) эксплуатационных процессов, таких как техническое обслуживание, приведение технических устройств (ТУ) в готовность к применению, реализуемых системой технического обеспечения, возникает задача определения такого количественного состава обслуживающего персонала, занятого в этих процессах, который бы позволил выполнить мероприятия за минимальное время при ограничении на суммарное его количество в расчетах (подразделениях). Подобного рода задачи встают и при выполнении внеплановых задач на созданных объектах, когда возникает необходимость помимо основного спланированного процесса выполнить дополнительные работы или увеличить пропускную способность. Характерной особенностью электромеханического оборудования комплексов вооружения является то, что их гарантийный и назначенный ресурсы (сроки службы) меньше, чем основного технологического оборудования. Ввод их в эксплуатацию осуществляется до монтажа и испытаний основного технологического оборудования, а режимы функционирования, как правило являются постоянными. Данные обстоятельства предопределяют более ранний переход на систему поддержания в готовности по фактическому техническому состоянию, следовательно, штатным составом расчета необходимо выполнять различные по объему работы технического обслуживания.

Для повышения эффективности использования обслуживающего персонала подразделений важное значение, наряду с количественными, приобретают его качественные характеристики, под которыми следует понимать соответствие профессиональных знаний и навыков, степени профессиональной подготовки, а также психофизиологических качеств требованиям технологического процесса [1].

В настоящее время задачи управления персоналом решаются с использованием как качественных, так и количественных методов. К таким задачам относят: определение оптимальной численности эксплуатационных подразделений, распределение персонала по смежным специальностям, планирование процесса обучения персонала, некоторые задачи отбора персонала, анализ и синтез организационных структур управления [2–4].

В данной публикации мы будем оперировать следующими характеристиками профессионально-квалификационного состава персонала эксплуатационных подразделений [2, 5, 6]:

- количеством (количественные и структурные характеристики, связанные с численностью обслуживающего персонала и их профессионально-квалификационной структурой);
- состоянием (качественные характеристики, связанные с профессией и уровнем квалификации персонала);
- движением (подготовка, переподготовка и повышение квалификации).

Так как персонал, задействованный в вышеуказанных эксплуатационных процессах, имеет различную квалификацию, например квалификацию инженеров и техников, то при определении оптимальной численности состава необходимо также определить оптимальное соотношение между персоналом, имеющим различную квалификацию.

Решение данной задачи выполним в два этапа. На первом этапе распределим специалистов по работам, предполагая, что каждая работа выполняется самостоятельным расчетом, а на втором – сформируем расчеты необходимой численности исходя из того, что ряд работ, разнесенных по времени, но имеющих сходный характер, может быть выполнен одним расчетом.

Для решения вопросов первого этапа необходимо преобразовать технологический график эксплуатационного процесса, с операциями, выполняемыми последовательно-параллельно, таким образом, чтобы график не содержал параллельных операций. Это достигается путем объединения параллельно выполняемых работ или части работ в одну работу, характеризующуюся суммарными трудозатратами. При этом необходимо знать не только трудозатраты, потребные для выполнения операции в целом, но и трудозатраты, потребные для выполнения ее частей.

Для реализации указанного преобразования технологический график необходимо разбить на интервалы так, как это показано на рис. 1. На этом рисунке три работы, выполняемые последовательно-параллельно (1, 2, 3), разбиты на 5 интервалов. Объединив параллельно выполняемые части работ, получим график процесса, содержащий только пять последовательных операций (нижняя часть рис. 1), для выполнения которых необходимы следующие трудозатраты:

$$C_{1j} = C_{1j}^1, C_{2j} = C_{2j}^1 + C_{2j}^3, C_{3j} = C_{3j}^1 + C_{3j}^2 + C_{3j}^3, C_{4j} = C_{4j}^1 + C_{4j}^2, C_{5j} = C_{5j}^2,$$

где C_{ij}^m – трудозатраты специалистов j -й квалификации, необходимые для выполнения части m -й работы исходного графика, соответствующей i -му интервалу.

Предположим, что необходимо выполнить r последовательных операций расчетного графика (графика, содержащего только последовательные работы) с помощью r групп специалистов, из которых далее будут сформированы расчеты. В этом случае необходимо разделить количественный состав групп для каждой квалификации специалистов таким образом, чтобы обеспечивалось минимальное время выполнения всего комплекса операций при ограничении на суммарное количество специалистов каждой квалификации, т. е. найти такие n_{ij} ($i=1, 2, \dots, r; j=1, 2, \dots, i$), при которых функция

$$T = \sum_{i=1}^r t_i(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{ii}) \quad (1)$$

примет минимальное значение и выполняются ограничения:

$$\sum_{i=1}^r n_{ij} \leq N_{j\text{доп}}, \quad (2)$$

$$n_{ij}^{\min} \leq n_{ij} \leq n_{ij}^{\max}, \quad (3)$$

где t_i – время выполнения i -й операции расчетного графика;
 n_{ij} – количество специалистов j -й квалификации в группе, выполняющей i -тую операцию;
 T – время выполнения всего комплекса операций;
 $N_{j\text{доп}}$ – располагаемое количество личного состава j -й квалификации.

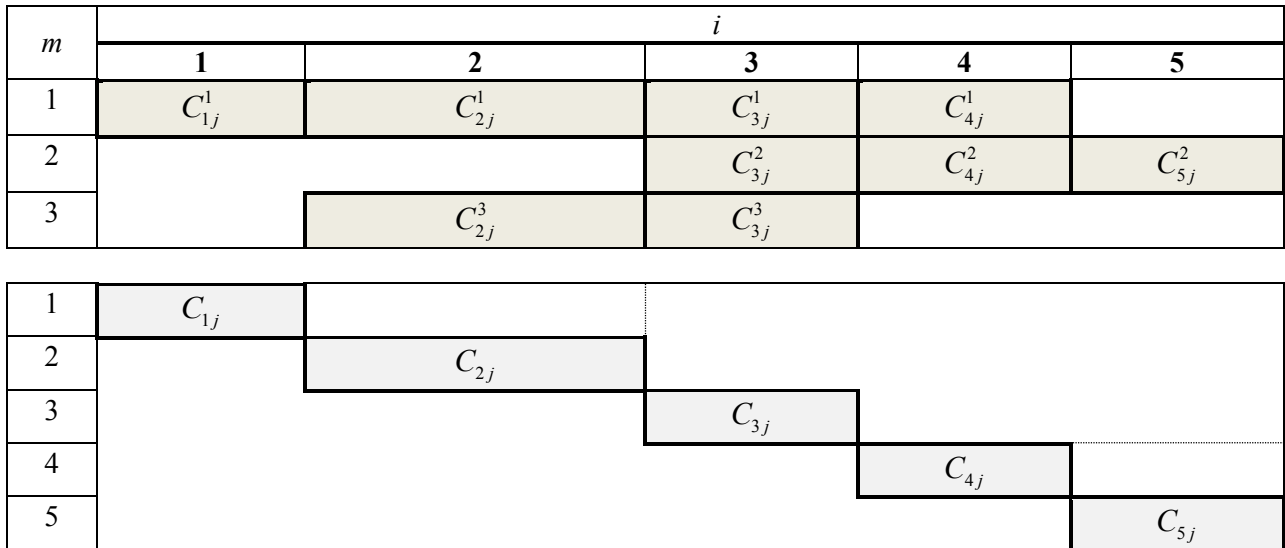


Рис. 1. Технологический график условного эксплуатационного процесса

Ограничения (3) всегда имеют место в реальных эксплуатационных процессах и определяют минимально и максимально допустимое количество специалистов j -й квалификации, выполняющих i -тую работу. Вместо ограничений (2) могут быть рассмотрены ограничения вида

$$\sum_{j=1}^i \sum_{i=1}^r n_{ij} \leq N_{\text{доп}} \quad (4)$$

или

$$\sum_{j=1}^i \sum_{i=1}^r h_{ij} n_{ij} \leq H_{\text{доп}} \quad (5)$$

где h_{ij} – стоимость работы специалиста j -й квалификации, занятого на i -й операции;
 $H_{\text{доп}}$ – допустимая стоимость выполнения всего комплекса операций;
 $N_{\text{доп}}$ – время выполнения всего комплекса операций;
 $N_{j\text{доп}}$ – максимально допустимое суммарное количество личного состава, занятого выполнением всего комплекса операций.

Так как критерий оптимальности [1] является аддитивным, то, используя принцип оптимальности, для вычисления его минимального значения можно получить следующие рекуррентные соотношения:

$$f_1(\xi_{11}, \xi_{12}, \dots, \xi_{1i}) = \min_{n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i}} t_1(n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i}); \quad (6)$$

$$f_i(\xi_{i1}, \xi_{i2}, \dots, \xi_{ii}) = \min_{n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{ii}} [t_i(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{ii}) + f_{i-1}(\xi_{i1} - n_{i1}, \xi_{i2} - n_{i2}, \dots, \xi_{ii} - n_{ii})], \quad i=2, 3, \dots, r \quad (7)$$

где

$$f_i(\xi_{i1}, \xi_{i2}, \dots, \xi_{ii}) = \min_{\substack{n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i} \\ n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2i} \\ \dots \\ n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{ii}}} \sum_{k=1}^i t_k(n_{k1}, n_{k2}, \dots, n_{ki}) \quad (8)$$

при условии, что

$$\sum_{k=1}^i n_{kj} \leq \xi_{ij}, \quad j=1,2,\dots,i. \quad (9)$$

Символом ξ_{ij} обозначено возможное значение людского ресурса, последовательно выбираемого из следующего ряда:

$$\left. \begin{aligned} \xi_{ij} &= \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\min} (1) \left(N_j - \sum_{k=i+1}^r n_{kj}^{\min} \right), \\ \sum_{k=1}^i n_{ij}^{\max} &\triangleright \left(N_j - \sum_{k=i+1}^r n_{kj}^{\min} \right) \\ \xi_{ij} &= \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\min} (1) \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\max}, \\ \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\max} &\triangleleft \left(N_j - \sum_{k=i+1}^r n_{kj}^{\min} \right). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Ряд допустимых значений n_{ij} для каждого ξ_{ij} может быть определен из следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} n_{1j} &= n_{1j}^{\min} (1) \xi_{1j}, \\ n_{i+1,j} &= A(1)B, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$A = \begin{cases} n_{i+1,j}^{\min}, & \text{если } \left(\xi_{i+1,j} - \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\max} \right) \leq n_{i+1,j}^{\min}, \\ \xi_{i+1,j} - \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\max}, & \text{если } \left(\xi_{i+1,j} - \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\max} \right) \triangleright n_{i+1,j}^{\min}, \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} \xi_{i+1,j} - \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\min}, & \text{если } \left(\xi_{i+1,j} - \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\min} \right) \leq n_{i+1,j}^{\max}, \\ n_{i+1,j}^{\max}, & \text{если } \left(\xi_{i+1,j} - \sum_{k=1}^i n_{kj}^{\min} \right) \triangleright n_{i+1,j}^{\max}. \end{cases}$$

Оптимальное распределение специалистов по группам определяется по формуле

$$n_{r-k,j}^* = \hat{n}_{r-k,j} \left(\xi_{r-k,1} = N_1 - \sum_{\rho=0}^{k-1} n_{r-\rho,1}^*; \xi_{r-k,2} = N_2 - \sum_{\rho=0}^{k-1} n_{r-\rho,2}^*; \dots; \xi_{r-k,i} = N_i - \sum_{\rho=0}^{k-1} n_{r-\rho,i}^* \right),$$

$$j = 1, 2, \dots, i, k = 1, 2, \dots, r-1$$

где $\hat{n}_{r-k,j}(\xi_{r-k,1}, \xi_{r-k,2}, \dots, \xi_{r-k,i})$ – количество специалистов j -й квалификации, занятых на $(r-k)$ -й работе, при котором

$$f_{r-k}(\xi_{r-k,1}, \xi_{r-k,2}, \dots, \xi_{r-k,i}) = \min_{n_{r-k,1}, n_{r-k,2}, \dots, n_{r-k,i}} \sum_{\rho=0}^{r-k} t_{\rho}(n_{\rho_1}, n_{\rho_2}, \dots, n_{\rho_i}) \quad (13)$$

Решение сформулированной задачи при больших значениях i , т. е. при большом разнообразии квалификаций специалистов, связано с исключительно большими вычислительными трудностями. Однако на практике i , как правило, не превосходит 3 (инженеры, техники, рядовой состав). Это обстоятельство, а также тот факт, что для реальных эксплуатационных процессов ограничения (3) в большинстве случаев не позволяют расширять фронт работ в сколько-нибудь значительных пределах, делает возможным решение задачи об определении

оптимальной численности расчетов методом динамического программирования [7] при довольно большом количестве работ.

Вид функции $t_i(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{ii})$ на сложность решения задачи практически влияния не оказывает.

Рассмотрим случай, когда в работах участвуют специалисты двух квалификаций: инженеры и техники.

Обозначим C_{i1} – трудоемкость i -й операции в случае ее выполнения специалистами, имеющими квалификацию инженеров; C_{i2} – трудоемкость i -й операции в случае ее выполнения специалистами, имеющими квалификацию техников и предположим, что в пределах ограничений (3) время выполнения i -й операции специалистами только одной j -й квалификации определяется формулой

$$t_{ij} = \frac{C_{ij}}{n_{ij}}. \tag{14}$$

Тогда время выполнения этой операции одновременно специалистами различных квалификаций определяется выражением

$$t_i = \left(\sum_{j=1}^2 \frac{n_{ij}}{C_{ij}} \right)^{-1}. \tag{15}$$

Следует заметить, что различие между C_{i1} и C_{i2} может проявиться только в том случае, если i -тая операция имеет подоперации, время выполнения которых зависит от способностей исполнителей решать творческие задачи, например искать неисправности, принимать решения (в том числе организационные) в нестандартных ситуациях. Именно при таких условиях и имеет место сформулированная ранее задача, которую можно формализовать следующим образом. Найти такое распределение инженеров n_{i1} и техников n_{i2} по операциям, при котором время выполнения всего комплекса операций

$$T = \sum_{i=1}^r \left(\sum_{j=1}^2 \frac{n_{ij}}{C_{ij}} \right)^{-1} \tag{16}$$

будет минимально и будут выполнены следующие ограничения:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^r n_{i1} &\leq N_1, \\ \sum_{i=1}^r n_{i2} &\leq N_2, \\ n_{i1}^{\min} &\leq n_{i1} \leq n_{i1}^{\max}, \\ n_{i2}^{\min} &\leq n_{i2} \leq n_{i2}^{\max}. \end{aligned} \right\} \tag{17}$$

Формулы (6) и (7) в этом случае примут соответственно следующий вид:

$$f_1(\xi_{11}, \xi_{12}) = \min_{n_{11}, n_{12}} \left(\frac{n_{11}}{C_{11}} + \frac{n_{12}}{C_{12}} \right)^{-1} = \left(\frac{\xi_{11}}{C_{11}} + \frac{\xi_{12}}{C_{12}} \right)^{-1}; \tag{18}$$

$$f_i(\xi_{i1}, \xi_{i2}) = \min_{n_{i1}, n_{i2}} \left[\left(\frac{n_{i1}}{C_{i1}} + \frac{n_{i2}}{C_{i2}} \right)^{-1} + f_{i-1}(\xi_{i1} - n_{i1}, \xi_{i2} - n_{i2}) \right]. \tag{19}$$

Определение оптимального количества специалистов n_{ij}^* , занятых на отдельных операциях производится по формуле (11). После выполнения указанных расчетов необходимо перейти

ти ко второму этапу решения задачи, т. е. определению количественного состава расчетов одной специальности.

Сначала по результатам анализа сущности выполняемых операций определяется комплекс операций, который может быть заменен расчетом одной специальности. Затем оставшиеся операции, т. е. операции, для выполнения которых необходимо применять расчеты разных специальностей, разбиваются на необходимое число параллельно выполняемых операций и производится определение специалистов по этим операциям. Для этого по известным к данному моменту решения задачи величинам C_{ij} и n_{ij} определяется

$$t_i^* = \sum_{j=1}^2 \left(\frac{n_{ij}^*}{C_{ij}} \right)^{-1}. \quad (20)$$

А по формуле

$$n_{ij}^m = \frac{C_{ij}^m}{t_i^*} \quad (21)$$

находится искомое распределение специалистов по i -м участкам операции m исходного графика. Количество специалистов, которое необходимо выделить для выполнения работы, видимо, не должно быть меньше, чем наибольшее значение n_{ij}^m , ибо иначе работа не будет выполнена. Поэтому

$$n_j^m = \max_{i \in L} n_{ij}^m, \quad (22)$$

где n_j^m – количество специалистов j -й квалификации, занятых на работе m ;

L – множество индексов i , соответствующее участкам разбиения работы m .

Качественный состав расчетов определяется по формуле

$$n_k = \max_{m \in G_n} n_1^m + \max_{m \in G_n} n_2^m, \quad (23)$$

где n_k – количество людей в K -ом расчете;

G_k – множество работ, выполняемых K -м расчетом.

Вывод. Рассмотренная методика справедлива при предположении, что параллельные участки работ начинаются и заканчиваются одновременно. Очевидно, что при снятии этого ограничения можно достигнуть большего сокращения времени выполнения работ. Однако решение такой задачи является более сложным.

Список используемых источников

1. Галенко В.П., Страхова О.А., Файбушевич С.И. Управление персоналом и эффективность предприятий: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбУЭФ, 1994. – 79 с.
2. Основы управления персоналом: учеб. пособие для вузов /под ред. Б.М. Генкина. – М.: Высш. шк., 2011.
3. Баранов Л.Т. Определение оптимальной численности производственных подразделений // Сб. статей XI Международной научно-технической конференции «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании». – Пенза, 2003.
4. Баранов Л.Т., Птушкин А.И. Количественная оценка соответствия кандидатов для замещения вакантной должности предъявляемым требованиям // Персонал – Микс. – 2003. – №4 (17).
5. Горшков В.В. Совершенствование использования кадрового потенциала объединений и предприятий. – Л., 1985.

6. *Силин А.Н.* Управление персоналом: учебник по кадровому менеджменту. – Тюмень: Изд-во ТГУ, 2011.
7. *Беллман Р., Дрейфус С.* Прикладные задачи динамического программирования: пер. с англ. / под ред. А.А. Первозванского. – М.: Наука, 1965.

С.Ю. Герасименко;
В.А. Грибакин,
доктор техн. наук, доцент;
А.С. Перфильев,
кандидат техн. наук;
А.Э. Султанов,
кандидат техн. наук

СТАБИЛИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА В КАМЕРАХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОВАНИЕМ ТОПЛИВА

Изложены основные результаты теоретико-экспериментальных исследований по обоснованию применимости методов контроля свойств состава продуктов сгорания, чувствительных к изменению соотношения компонентов топлива, для реализации комбинированной системы управления расходом топлива в задаче стабилизации соотношения компонентов топлива в камерах ракетных двигателей. Сформулированы основные преимущества комбинированной системы управления расходом топлива в отношении повышения энергетических характеристик ракет-носителей.

Ключевые слова: управление расходом топлива, удельный импульс, энергетические характеристики, ракета-носитель, спектр виброускорения.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших характеристик ракеты-носителя (РН) как средства выведения была и остается масса полезного груза (космического аппарата или группы аппаратов), выводимого на определенную орбиту. Определяющими параметрами при этом выступают:

- масса остатков топлива в баках в конце работы соответствующей ступени;
- величина удельного импульса двигателя $I_{уд}$.

В процессе работы жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) значение соотношения массовых расходов компонентов ракетного топлива (КРТ) в камере сгорания (КС) не является величиной постоянной, а изменяется (увеличивается или понижается) со временем. Этот эффект предопределен непропорциональностью изменения давления на входе в насосы окислителя и горючего, что происходит из-за:

- различий в динамике (темпе) изменения высоты столбов жидкости (окислителя и горючего) относительно точки входа в двигатель;
- различий в функционировании систем наддува топливных баков (окислителя и горючего);
- погрешности настройки регуляторов;
- временной дискретности измерения текущих уровней топлива в баках.

Возникающая при этом несинхронность расходования компонентов топлива из баков на современных РН парируется порогово-дискретной системой управления расходом топлива (СУРТ) за счет изменения соотношения компонентов K_m посредством перенастройки дросселя (изменения его гидравлического сопротивления).

В алгоритмах порогово-дискретных СУРТ формируется модель расходования топлива с использованием информации о текущем режиме расходования топлива, расчетной циклограммы работы ДУ и равномерной информации. В моменты срабатывания чувствительных элементов датчиков уровней в топливных баках фиксируются модельные значения текущих запасов топлива. На основе отклонений этих значений от номинальных запасов топлива под

измерительными точками вычисляются поканальные управляющие воздействия и формируется управляющая команда на изменение в допустимых пределах K_m для обеспечения синхронизации расходов компонентов топлива.

Вместе с тем получивший наиболее широкое применение способ управления, базирующийся на порогово-дискретном измерении уровней топлива в баках РН, характеризуется рядом недостатков:

1) указанному подходу присущ дискретный характер контроля соотношения КРТ. В период времени прохождения зеркала жидкости между уровнями процесс опорожнения баков остается фактически не контролируемым, что в случае возникновения нештатной ситуации не позволит системе управления парировать ее развитие [1];

2) устранение несинхронности расходования компонентов топлива из баков всегда приводит к ступенчатому изменению коэффициента соотношения компонентов топлива в камерах сгорания K_m ракетного двигателя, что сказывается на величине удельного импульса двигателя;

3) данный способ реализации СУРТ оказывается чувствительным к погрешностям начальной заправки топлива в баки РН, а также к плотности компонентов топлива. Наличие слоя паровых включений у поверхности криогенной жидкости дополнительно снижает точность измерения уровня жидкости в баках. Это, в свою очередь, сказывается на точности синхронизации опорожнения компонентов топлива и возрастании остатков топлива в баках.

Таким образом, применяемый в современных РН порогово-дискретный принцип управления расходованием топлива не обеспечивает строгой и постоянной стабилизации соотношения компонентов в КС. Основная задача СУРТ – обеспечение одновременности опорожнения баков и прогнозирование момента окончания рабочего запаса КРТ для выработки команды на выключение двигателя.

В таких условиях изменение давления компонентов топлива на входе в двигатель может привести к постепенному смещению соотношения компонентов топлива в камерах относительно их номинальных значений.

В настоящее время допустимые пределы соотношения массовых расходов компонентов K_m определяются из условия обеспечения требуемого уровня работоспособности КС (ограничения времени пребывания КС в области неустойчивости рабочего процесса, снижения значения теплового потока во внутреннюю стенку корпуса камеры и т. п.) и устанавливаются индивидуально для каждого двигателя. Так, например, для современных ЖРД РД-191 и РД-0124А допустимые диапазоны составляют 2,55–2,94 и 2,3–2,65 соответственно.

Учитывая изложенное, представляет практический интерес привлечение дополнительных способов управления расходованием топлива, основанных на непрерывном контроле расходов окислителя и горючего.

Для разгонных блоков такую комбинированную СУРТ допустимо сформировать на основе вертушечных расходомеров, устанавливаемых в расходные магистрали двигательной установки [1]. Для ракетных блоков первых ступеней РН, для которых характерны значительные массовые секундные расходы топлива, использование расходомеров существенно ограничено.

В то же время представляется возможным использование эффекта зависимости частот акустических колебаний газов в объеме камеры сгорания двигателя от состава продуктов сгорания, определяемого, в свою очередь, соотношением компонентов топлива. Таким образом, с помощью указанного эффекта представляется принципиально возможным обеспечить контроль и управление расходованием топлива из баков.

СПОСОБ КОНТРОЛЯ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА В КАМЕРАХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные другими авторами [1], убедительно показывают, что наиболее оперативно на изменение состава продуктов сгорания реагируют процессы в камере сгорания. В частности, соотношение компонентов топлива влияет на состав и свойства продуктов сгорания, а именно – молярную массу, что в совокупности с изменением температуры определяет скорость распространения акустических колебаний a в объеме КС.

Значение частоты f_c собственных акустических колебаний газа, заключенного во внутренний объем камеры сгорания, в основном определяется ее геометрическими размерами: радиусом $R_{ц}$ и длиной $L_{ц}$ ее цилиндрической части, а также акустическими свойствами самого газа – скоростью звука a .

Количественно закономерность изменения частоты f_c при изменении геометрии камеры и свойств рабочего тела (через скорость звука a) иллюстрирует формула [6]

$$f_c = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{mn}^2}{R_{ц}^2} + \frac{i^2 \pi^2}{L_{ц}^2}}, \quad (1)$$

где i – число полуволн давления по длине камеры сгорания;
 $R_{ц}$, $L_{ц}$ – радиус и длина цилиндрической части камеры соответственно;
 k_{mn} – корни уравнения для бесселевых функций;
 n , m – переменные, определяющие порядок мод радиальных и тангенциальных форм колебаний.

Анализ сигналов датчиков вибрации элементов конструкции ЖРД, полученных при наземных и летных испытаниях, показывает, что наиболее выраженными формами пульсации давления являются комбинированные, сочетающие нижние моды продольных, радиальных и тангенциальных колебаний. Для этого случая в качестве параметра a принимается некоторая усредненная по объему цилиндрической части КС величина.

Для подтверждения гипотезы о наличии однозначной взаимосвязи частоты f_c и соотношения компонентов K_m проведен анализ результатов доводочных испытаний двигателя РД-0124А [7]: сопоставлены значения частотных максимумов в окрестностях частот собственных акустических колебаний камеры сгорания, а также массового соотношения компонентов топлива и давления в камере сгорания.

На рис. 1 представлены результаты обработки виброускорения элементов конструкции двигателя РД-0124А при стендовых (наземных) испытаниях. Заслуживают особого внимания, как минимум, два частотных диапазона, лежащих в окрестностях частот $f_1 = 14,26$ кГц и $f_2 = 17,85$ кГц.

В указанных частотных диапазонах проявляется собственная акустическая частота колебаний газа, определяемая по формуле (1). Сопоставление значений этих частот и значения соотношения компонентов топлива (рис. 2 и 3) позволяет оценить их корреляционную зависимость. Высокий уровень связи (коэффициент корреляции $R = -0,96$) между рассматриваемыми параметрами позволяет использовать значения частот акустических колебаний в качестве информативного параметра для оценки изменения соотношения компонентов топлива в камере ракетного двигателя.

На величину скорости распространения акустических колебаний a , применяемую в соотношении (1), помимо соотношения компонентов свое влияние оказывает и давление в камере сгорания ракетного двигателя.

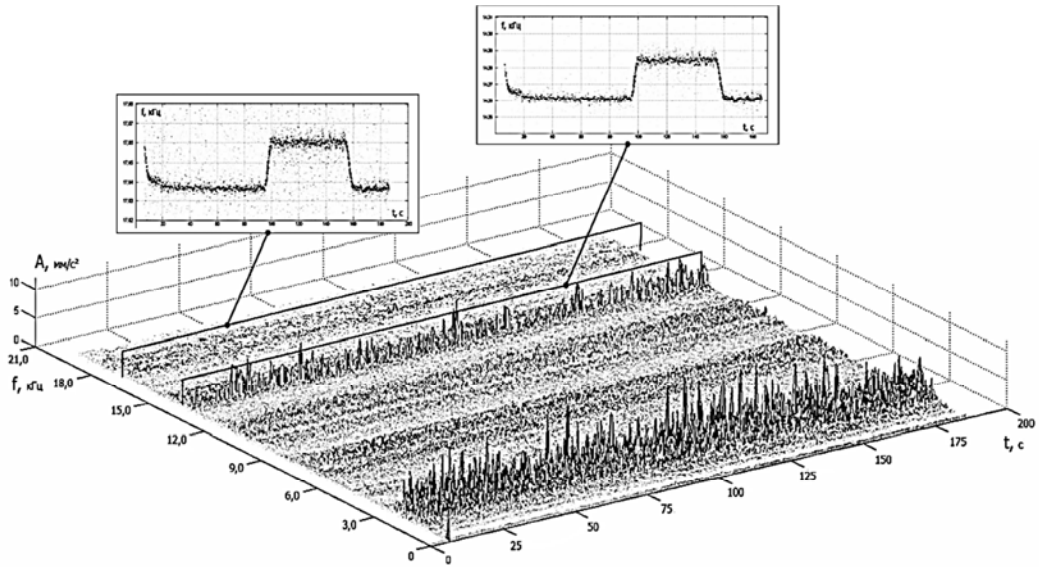


Рис. 1. Спектрограмма виброускорения конструкции двигателя РД-0124А

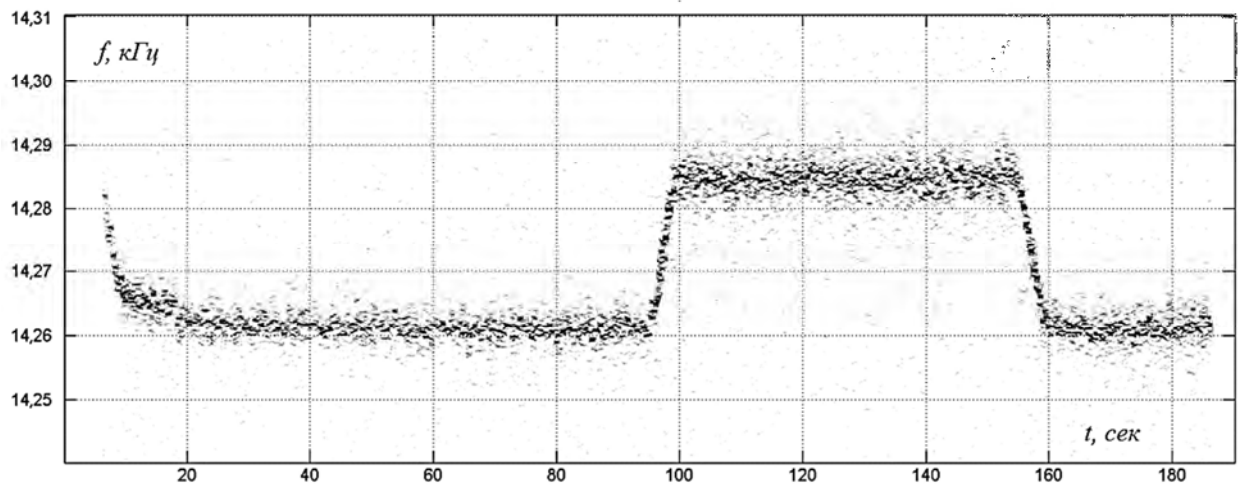


Рис. 2. Изменение частоты вибрации форсуночной головки камеры

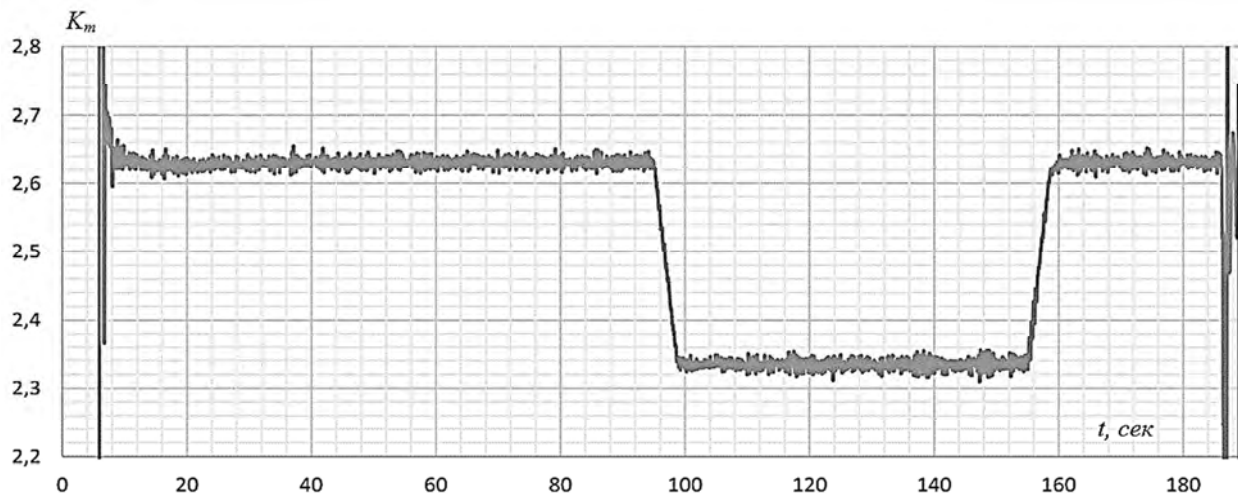


Рис. 3. Изменение массового соотношения компонентов топлива в камере ЖРД

На рис. 4 представлено изменение давления окислителя и горючего перед форсунками камеры. Сопоставление представленных иллюстраций (рис. 2, 3, 4) на интервалах времени 20–50 с, 80–100 с, 150–180 с подтверждает отмеченную зависимость, вместе с тем однозначно свидетельствует о низком уровне влияния давления в камере на изменение акустической частоты колебаний газа по сравнению с уровнем влияния соотношения компонентов.



Рис. 4. Изменение давления компонентов топлива перед форсуночной головкой

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОВАНИЕМ ТОПЛИВА

Метод непрерывного контроля текущего значения соотношения компонентов в камерах двигателя на основе вышеизложенного физического эффекта имеет существенную особенность, ограничивающую его использование. Итоговая погрешность в определении оставшихся масс топлива постоянно повышается за счет неточности оценки K_m в результате перехода от секундных расходов к оставшимся массам топлива и их интегрирования. Указанное обстоятельство не позволяет перспективным СУРТ базироваться только на методах непрерывного контроля K_m и предопределяет необходимость комбинирования двух методов — порогово-дискретного и непрерывного контроля, — что способствует достижению требуемых показателей качества управления двигательной установкой.

В состав комбинированной СУРТ дополнительно к датчикам уровня должны входить также технические средства контроля частот колебания давления в объеме камеры сгорания. Опыт научных исследований, проведенных на модельных двигателях американскими специалистами [6], а также анализ телеметрической информации доводочных испытаний двигателей РД-0124А [7] (см. рис. 1) указывают на принципиальную возможность использования датчиков вибрации (акселерометров) в качестве первичных преобразователей для определения и отслеживания значения соотношения компонентов в камерах ЖРД. Таким образом, в дополнение к имеющимся датчикам уровней, расположенным в баках РН, возможно задействовать уже имеющиеся в составе измерительных систем двигателей виброакселерометры, установленные на штатные посадочные площадки камеры (в районе форсуночной головки).

Влияние давления в камере сгорания на частоты колебания давления должно при работе комбинированной СУРТ учитываться через поправочные коэффициенты (коэффициенты влияния), определяемые по результатам математического моделирования или огневых испытаний двигателя. Значение давления в камере сгорания может определяться по сигналам датчиков давления в полости форсуночной головки горючего, а также датчиков давления за турбиной окислительного генераторного газа (в случае использования ЖРД с дожиганием окислительного генераторного газа). При этом управление соотношением должно реализовываться по штатной схеме – через дроссель, подстраивающий значение расхода горючего под расход окислителя.

Положительный эффект от достигаемой стабилизации соотношения компонентов при работе комбинированной СУРТ может быть продемонстрирован на примере изменения удельного импульса двигателя как показателя экономичности его функционирования.

Проведенные теоретические оценки изменения удельного импульса современных ЖРД, представленные на рис. 5, позволяют предположить, что стабилизация соотношения компонентов топлива может обеспечить перенастройку двигателя на более высокое номинальное значение K_m , тем самым повысив его удельный импульс. Например, для рассмотренных двигателей представляется потенциально возможным прирост удельного импульса двигателя на величину около 1 %.

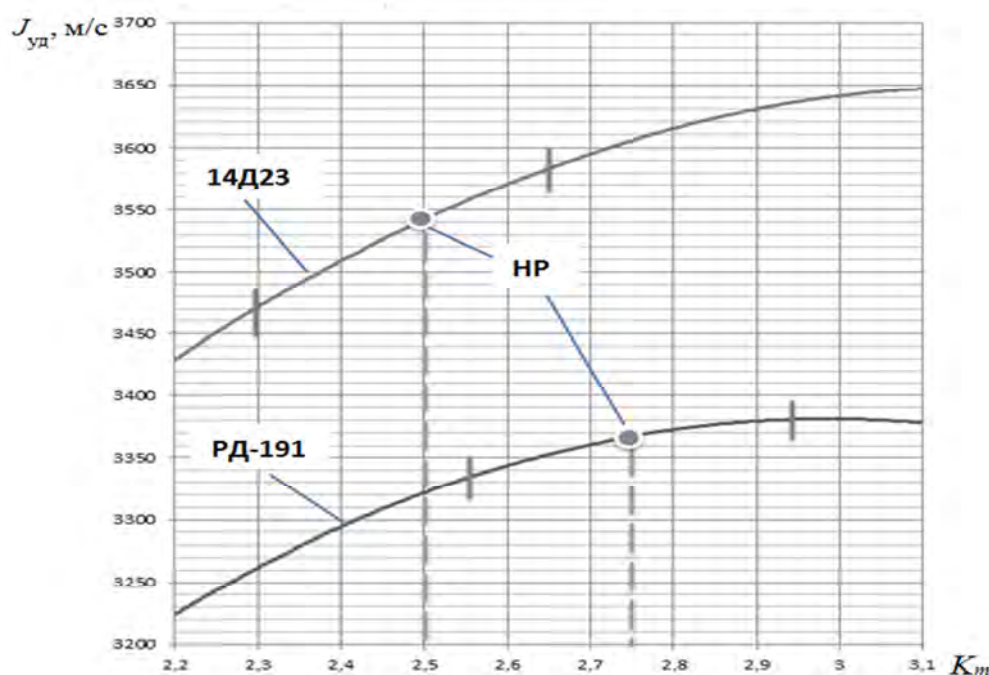


Рис. 5. Теоретические зависимости $J_{уд}$ от коэффициента K_m (для двигателей РД-191 и 14Д23)

Очевидно также, что при непрерывной «жесткой» стабилизации K_m в процессе работы двигательной установки будет также обеспечено и решение задачи синхронизации опорожнения топлива из баков, т.е. минимизация остатков топлива и пассивной массы ступени РН к концу работы двигателя [8].

Результаты исследований, полученные другими авторами, подтверждают возможность снижения остатков невыработанных КРТ в несколько раз, что позволяет увеличить рабочий запас топлива и повысить энергетические характеристики ракетного блока [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход от периодического дискретного подхода в управлении расходом топлива к комбинированной СУРТ, обеспечивающей непрерывный контроль соотношения компонентов, позволяет добиться более точной синхронизации расходов окислителя и горючего, снижая остатки топлива в баках РН. Для верхних ступеней РН и разгонных блоков подобное сокращение остаточной (пассивной) массы обеспечивает существенное повышение грузоподъемности. Одновременно с этим решается задача стабилизации режима работы камер ЖРД, что благоприятно сказывается на надежности двигателя и ракеты в целом. Стабилизация соотношения компонентов в камере открывает потенциальную возможность повышения величины удельного импульса ЖРД.

Список используемых источников

1. *Иванов В.П., Партола И.С.* Комбинированная система управления расходом топлива кислородно-водородного разгонного блока // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2011. – №3. – С 28–34.
2. Управление расходом топлива как средство повышения энергетики жидкостной ракеты / Б.Н. Петров, Ю.П. Портнов-Соколов, А.Я. Андриенко, В.П. Иванов // Навигация, наведение и оптимизация управления. – М.: Наука, 1978. – С. 67–76.
3. *Андриенко А.Я., Иванов В.П.* Совершенствование энергетических характеристик жидкостных ракет средствами автоматического управления Ч. I. Физико-технические основы управления расходом жидкого топлива ракет // Управление подвижными объектами. – 2009. – № 1. – С. 66–71.
5. *Дедученко Ф.М., Кузьмина Р.П.* Корреляционные критерии причинно-следственных связей // Труды ГДЛ ОКБ (НПО Энергомаш). – 1974. – № 6.
6. *Харрье Д.Т., Рирдон Ф.Г.* Неустойчивость горения в ЖРД. – М.: Мир, 1975. – 870 с.
7. Техническая справка по результатам доводочных испытаний двигателя 14Д23 №26-3 25.06.2008. – Воронеж: КБХА, 2008.
8. *Султанов А.Э., Перфильев А.С.* Оценивание эффективности непрерывного контроля расхода топлива для повышения энергетических характеристик ракет-носителей на основе имитационного моделирования // Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Т.2. – С. 210–215.

В.А. Грибакин,
доктор техн. наук доцент;
И.А. Дёма;
А.С. Перфильев,
кандидат техн. наук;
С.Ю. Пирогов,
доктор техн. наук доцент

ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПУСКОВ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Изменение структуры масс полезных нагрузок, выводимых ракетами-носителями на заданные орбиты, требует принятия адекватных решений по формированию системы средств выведения космических аппаратов и определения оптимального параметрического ряда ракет-носителей, используя подход, позволяющий рассчитывать структуру параметрического ряда ракет-носителей. В работе анализируются результаты формирования такого ряда для случая без учета сегмента малых космических аппаратов и с учетом этого сегмента. Показано, что игнорирование развития сегмента малых космических аппаратов и отсутствие соответствующих средств выведения может привести к существенному удорожанию реализации программ космических исследований.

Ключевые слова: ракеты-носители, параметрический ряд, малый космический аппарат.

Последнее десятилетие характеризуется бурным ростом нового сегмента космических аппаратов – малых космических аппаратов (МКА), масса которых составляет менее 1000 кг. В сегменте этих космических аппаратов различают малые, мини, микро, нано, а также пико и фемто космические аппараты [1]. Бурное развитие этого сегмента обусловлено доступностью элементной базы, низкой стоимостью комплектующих, высокой гибкостью, а также низкой стоимостью выведения таких КА вследствие прежде всего их малой массы. Кроме того, уровень технических требований, предъявляемых к МКА ниже, что существенно упрощает и удешевляет их разработку. Анализ интенсивности запусков МКА свидетельствует, что в период с 2012 по 2014 год произошел резкий скачок в количестве запущенных на орбиту МКА, причем этот скачок произошел в основном за счет МКА микро- и нанокласса. В настоящее время наблюдается увеличение доли МКА нанокласса и миникласса, в то время как доля МКА микрокласса уменьшается [1].

Интенсивная деформация структуры сегментов космических аппаратов и смещение сегментов запуска космических аппаратов в область МКА требует соответствующего анализа и корректировки планов развития системы средств выведения.

По мнению многих экспертов, решение проблемы запуска МКА на орбиту может быть осуществлено с помощью ракет-носителей (РН) сверхлегкого класса. Несмотря на то, что данный класс РН пока еще не является общепризнанным, в настоящее время около десяти фирм и стартапов в нашей стране и за рубежом занимаются разработкой дешевых сверхлегких РН.

В 2017 году сектор, связанный с производством и эксплуатацией легких и сверхлегких РН, являлся одним из наиболее динамично развивающихся сегментов рынка пусковых услуг. Всплеск активности в данном сегменте обусловлен тем, что компании-операторы услуг выведения столкнулись с переразмеренностью существующего парка РН для решения задач вывода МКА. В то же время решение транспортной задачи за счет попутного запуска не всегда устраивает заказчика. Этот способ запуска МКА имеет свои ограничения по гибкости и оперативности пусков, а также накладывает ограничения на параметры орбит МКА. В этой

связи также необходимо отметить, что и такая экономическая доминанта, как министерство обороны США, также объявило о желании пересмотреть свою стратегию закупок космических аппаратов и перейти вместо приобретения ограниченного количества тяжелых спутников к приобретению множества более легких МКА.

Кроме того, основным фактором роста количества компаний-разработчиков сверхлегких и легких РН является то, что в условиях современного состояния станочного парка стоимость проектов по их созданию и эксплуатации РН существенно сократилась. Также на коммерческую активность в данном сегменте оказывали влияние отчеты консалтинговых агентств. Например, согласно рыночному исследованию BIS Research «Global Small Satellites Market, Analysis & Forecast, 2017–2021» глобальный рынок малых космических аппаратов в 2021 году может достичь объема в \$10.1 млрд. (среднегодовой темп роста 31,9 %). Основными факторами роста составители отчета считают уменьшение массы и стоимости создаваемых спутников [1].

Указанные факторы свидетельствуют о необходимости проработки вопросов разработки и создания РН сверхлегкого или микрокласса для запуска МКА.

В работе [1] рассмотрены проблемные вопросы разработки и создания микро ракет для запуска МКА. Основными требованиями, предъявляемыми к микро-РН, являются следующие:

- минимальная стартовая масса ракеты в сочетании с высоким энергомассовым совершенством;
- возможность пуска с подвижных платформ;
- высокая технологичность, простота подготовки к пуску и безопасность;
- конкурентоспособность при запуске единичных МКА относительно более тяжелых ракет.

В работе авторы приводят приближенную зависимость массы РН от массы МКА, указывая, что большего эффекта можно добиться за счет применения, например, воздушного старта, однако такой подход представляется упрощенным вследствие того, что не учитывает общих затрат на разработку и создание сверхлегких РН, а также снижение стоимости вследствие высокого уровня серийности по сравнению с существующими РН.

Для оценки потребности в разработке сверхлегкой РН и определения ее базовых размерностей, т. е. параметрического ряда предлагается использовать методику, изложенную в работе [2].

Поиск параметрического ряда РН происходит на основе анализа программы космических исследований, которая представляет собой множество масс и соответствующее им количество КА, которые необходимо вывести на расчетную орбиту.

Программа космических исследований может быть задана в виде трехэлементного кортежа:

$$\langle G, m, k \rangle,$$

где G – множество масс КА, которые необходимо выводить на расчетные орбиты $G = (G_1, G_2, \dots, G_k)$;

m – множество, задающее количество соответствующих КА, $m = (m_1, m_2, \dots, m_k)$;

k – номенклатура КА.

Элементы множества G упорядочены по возрастанию. Задача состоит в определении семейства носителей $G_p = (G_{p1}, G_{p2}, \dots, G_{pt})$ и программы их изготовления $n = (n_1, n_2, \dots, n_t)$, обеспечивающих выполнение исследований с минимальными затратами Z . Здесь G_{pi} – максимальный полезный груз, который может выводить носитель i -го типа; n_i – число носителей i -го типа; t – номенклатура (число типов) носителей.

Задача решается при условии, что каждый носитель выводит на расчетную орбиту только один КА. Вместе с тем носитель, рассчитанный на максимальный полезный груз Gp_i , может использоваться для выведения любого КА массой $G_i \leq Gp_i$.

В качестве целевой функции в задаче выбраны затраты Z'' на выполнение программы. Критерием оптимальности выполнения программы является минимум затрат на реализацию [3, 4].

Возможны два крайних случая. Первый случай: для каждого типа КА предусматривается разработка своего носителя: $Gp = G$; $n = m$; $t = k$. Второй случай: для выполнения всей

программы разрабатывается один носитель. При этом $G_p = (0, 0, \dots, Gp_k)$; $n = (0, 0, \dots, \sum_i^k m_i)$;

$t = 1$. Очевидно, что в общем случае оба эти решения не являются оптимальными (теоретически при определенном сочетании исходных данных они могут оказаться таковыми). Поэтому далее рассматривается задача поиска оптимального решения $\langle Gp_{opt}, n_{opt}, t_{opt} \rangle$ из условия обеспечения минимальных затрат на программу:

$$Z''(Gp, n, t) \rightarrow \min .$$

Для решения задачи необходимо принять некоторую расчетную модель оценки затрат. При определении затрат следует различать затраты, с одной стороны, на научно-исследовательские работы (НИР), опытно-конструкторские работы (ОКР) и освоение производства конкретных типов носителей, с другой – на изготовление и осуществление пусков конкретных РН.

Под стоимостью разработки будем понимать затраты на разработку эскизных и рабочих проектов РН, изготовление и испытания узлов, агрегатов и блоков, изготовление, сборку и наземные испытания первых образцов РН, а также приемосдаточные испытания на подтверждение их работоспособности.

Под стоимостью изготовления понимаются расходы, связанные с изготовлением и испытанием ракет-носителей, в том числе РН, производимых серийно.

В задаче не учитывается временной фактор реализации программы, так как он во многом зависит от процедуры финансирования проекта и контрактных отношений заказчика и подрядчика.

Для определения стоимости разработки ракет-носителей примем следующее соотношение:

$$\Delta(Gp_i) = \frac{A_1}{Gp_i^{1-\alpha 1}} \cdot Q,$$

где $\Delta(Gp_i)$ – удельная стоимость разработки ракеты-носителя (стоимость разработки РН, отнесенная к массе максимально выводимого полезного груза носителя), она имеет размерность д.е./кг (д.е. – денежная единица в данном случае в абстрактной валюте);

A_1 – постоянный коэффициент (в общем случае коэффициент A_1 зависит от группы, к которой относится летательный аппарат – ракета-носитель, прикладные или исследовательские КА, автоматические межпланетные станции, ступени ракет-носителей, двигательные установки, пилотируемые КА и др.);

Gp_i – максимальная масса полезного груза, выводимого ракетой-носителем;

$\alpha 1$ – коэффициент, учитывающий влияние массы на стоимость разработки;

Q – коэффициент сложности.

Коэффициент сложности Q характеризует технический уровень или степень сложности разработки ракеты-носителя. При учете Q учитывается степень заимствования технических решений, наличие аналогов, опыт разработчиков. Величина Q может колебаться в больших пределах.

Для определения стоимости изготовления ракет-носителей воспользуемся формулой

$$\lambda(Gp_i, n) = \frac{A_2}{Gp_i^{1-\alpha_2}} \cdot C(n, r),$$

где $\lambda(Gp_i, n)$ – удельная стоимость изготовления ракеты носителя (стоимость изготовления РН, отнесенная к массе полезного груза), у.д.е./кг;

A_2 – постоянный коэффициент;

Gp_i – масса максимального полезного груза, выводимого РН;

α_2 – показатель степени, учитывающий влияние массы полезного груза на затраты по изготовлению ракеты-носителя;

$C(n, r)$ – коэффициент снижения затрат на производство в целом n ракет-носителей \bar{C}_n по сравнению с затратами на изготовление первого но-

сителя C_1 , $C(n, r) = \frac{\bar{C}_n}{C_1}$;

r – коэффициент освоения производства.

На основе предложенной методики были рассчитаны варианты требуемых параметрических рядов РН, необходимых для реализации космической программы.

В качестве исходных данных использовалась предложенная в [5] программа пусков КА для реализации космической программы, в которой отсутствует сегмент МКА. Предложенная программа модифицировалась для случая учета МКА в программе космических исследований на основе тенденций изменения этого сегмента, представленных в работе [1].

Для сокращения количества вычислений исходные сведения по массам и количеству КА объединялись в отдельные группы по массе. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2.

Общая стоимость реализации программы для запуска КА составит 77809968 у.д.е. Общая стоимость реализации программы для запуска МКА составит 16996271 у.д.е.

Таблица 1

Структура космической программы запуска КА

| | | | | | | |
|----------------------------|---------|-----------|----------|--------|---------|----------|
| Масса КА, т | 0 – 0,6 | 0,6 – 1,2 | 1,2 – 8 | 8 – 14 | 14 – 20 | 20 – 30 |
| Количество КА, шт. | 29 | 67 | 250 | 5 | 127 | 35 |
| Количество РН, шт. | 29 | 0 | 317 | 0 | 0 | 167 |
| Стоимость выведения, у.д.е | 996527 | – | 24062385 | – | – | 52751055 |

Таблица 2

Структура космической программы запуска МКА

| | | | | | | |
|----------------------------|---------|---------|--------|----------|-----------|------------|
| Масса МКА, кг | 0 – 0,1 | 0,1 – 1 | 1 – 10 | 10 – 200 | 200 – 600 | 600 – 1200 |
| Количество КА, шт. | 23 | 47 | 497 | 101 | 227 | 29 |
| Количество РН, шт. | 23 | 47 | 497 | 101 | 227 | 29 |
| Стоимость выведения, у.д.е | 6525 | 41991 | 888971 | 2068959 | 6166725 | 7823098 |

Результаты расчетов, представленных в табл. 1 и 2, позволяют сделать вывод, что для решения задачи запуска обычных КА требуется 3 типа ракет-носителей. В то же время для реализации запуска МКА требуется разработка целого спектра микроракет, для различных диапазонов масс.

Смещение рынка пусковых услуг в область МКА приведет к созданию достаточно емкого сегмента пусковых услуг для обеспечения их запуска. Размеры этого рынка могут составить до 1/5 от существующей емкости рынка пусковых услуг обычных КА.

Разумеется, такое решение задачи определения параметрического ряда сверхлегких ракет-носителей является приближенным, так как не учитывает важных для решения задачи выведения факторов, к числу которых можно отнести следующие:

- возможность запуска нескольких МКА одной ракетой;
- необходимость использования довыведения МКА для формирования требуемой конфигурации орбитальной группировки.

Учет названных факторов требует дальнейшей доработки представленной математической модели определения параметрических рядов РН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные расчеты затрат на реализацию космических программ на основе МКА показывают, что в ближайшее время объем пусковых услуг в этом сегменте может составить до 20 % от существующего объема запуска КА обычной размерности. Это, в свою очередь, требует обоснования размерного ряда микроракет, способных решать транспортную задачу запуска МКА. Оптимизация структуры параметрического ряда РН может быть проведена на основе уточнения стоимостных моделей разработки и создания микроракет, а также уточнения возможностей кластерного пуска МКА, когда одной РН запускается несколько МКА.

Список используемых источников

1. Ключников В.Ю., Кузнецов И.И., Осадченко А.С. Тенденции развития группировок малых КА и средств их выведения на орбиты // Актуальные вопросы проектирования автоматических космических аппаратов для фундаментальных и прикладных научных исследований. – М.: Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 2015. – С. 73–79.

2. Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Соллогуб А.В. Проектирование, динамика и устойчивость движения ракет-носителей: методы, модели, алгоритмы, программы в среде MathCad. – М.: Машиностроение – Машиностроение-Полет, 2013. – 296 с.

3. Горбулин В.И., Евдокимов Р.А., Фадеев А.С. Обоснование стратегии развертывания и восполнения орбитальных систем космических аппаратов на основе комплексной оптимизации управления организационно-технической системой // Труды ВНИИЭМ. – 2012. – Т. 128, № 3. – С. 35–40.

4. Баранов Д.А., Еленев В.Д. Определение массово-энергетических соотношений для параметрического ряда модификаций ракеты-носителя // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2011. – № 2 (26). – С. 10–17.

5. Вейко А.В. Экономические инструменты оптимизации программных мероприятий по развитию наукоемкой продукции на примере ракет-носителей: дис. ... канд. экон. наук. – М., 2015. – 188 с.

В.А. Грибакин,
доктор техн. наук, доцент;
А.С. Перфильев,
кандидат техн. наук;
С.Ю. Пирогов,
доктор техн. наук, доцент

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТДЕЛЯЕМЫХ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

В публикации представлен анализ основных проблем, связанных с моделированием движения отделяемых частей ракет-носителей на участке неуправляемого спуска в атмосфере Земли после отделения. Проанализированы режимы движения отделяемых частей, показано, что отделяемые части совершают неуправляемый полет в широком диапазоне чисел Маха и углов атаки. Рассмотрены методы определения аэродинамических характеристик отделяемых частей, приведены их достоинства и недостатки. На основе анализа методов расчета аэродинамических характеристик отделяемых частей предложен комбинированный метод расчета, который включает наряду с обобщенными данными по круговым аэродинамическим характеристикам цилиндрических тел вращения точечные оценки аэродинамических коэффициентов, полученные с помощью инженерных и численных методов.

Ключевые слова: отделяемая часть, ракета-носитель, аэродинамические характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование движения тел со скоростями, меньшими первой космической, в атмосфере Земли стало актуальным с момента начала запуска многоступенчатых ракет. В процессе выведения на орбиту у таких ракет их нижние ступени сбрасываются с целью увеличения массово-энергетического совершенства ракеты. Сбрасываемые или отделяемые части (ОЧ) двигаются по траекториям, которые в общем случае не совпадают с теоретической баллистической траекторией. При этом зачастую наблюдаются отклонения точек падения ОЧ от расчетных на величины, которые трудно объяснить в рамках стандартной эллиптической теории. Исследование таких эффектов требует более детального наблюдения и построения более точных моделей движения ОЧ ракет на участках спуска. Такие модели должны учитывать угловое движение ОЧ в процессе полета [1, 2].

Одной из важных задач при прогнозировании мест падения ОЧ ракет-носителей (РН) является разработка моделей аэротермодинамического нагружения ОС РН, спускающихся в атмосфере [3]. Модели аэротермодинамического нагружения ОЧ РН позволяют получать следующие необходимые данные:

- аэродинамические характеристики ОЧ РН, которые используются для решения задачи движения центра масс ОЧ РН и движения корпуса ОЧ РН вокруг центра масс;
- распределение аэродинамической нагрузки по корпусу ОЧ РН при движении на различных участках траектории;
- аэродинамические характеристики отдельных элементов ОЧ РН, возникающих в результате разрушения ступеней, необходимые для оценки районов падения обломков ОЧ РН;
- распределение тепловых нагрузок по корпусу ОЧ РН при полете на различных участках траектории, которое используется в задаче разрушения корпуса ОЧ РН [2].

На этапе проектирования и разработки современных ракетно-космических комплексов задача прогнозирования мест падения решается на основе простой эллиптической теории. В этом случае считается, что ОЧ РН движется по незамкнутой баллистической траектории без учета влияния атмосферы Земли. Вместе с тем повышение стоимости эксплуатации рай-

онов падения, трудности с выделением новых районов падения требуют от разработчиков более точных подходов к прогнозированию точек падения ОЧ РН, поэтому задача оценки аэродинамических характеристик ОЧ РН при движении на участке падения в атмосфере Земли является актуальной.

В настоящее время ведутся исследования, посвященные вопросам снижения размеров районов падения за счет управления движением как ОЧ РН на пассивном участке полета, так и за счет управления РН на активном участке полета [4–7]. Вместе с тем и для решения таких задач также актуальной остается задача определения аэротермодинамического нагружения ОЧ РН.

РЕЖИМЫ И ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОТДЕЛЯЕМЫХ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Аэродинамика отработанных ступеней и отдельных частей РН, сбрасываемых в полете и падающих на Землю, представляет собой отдельное важное направление в аэродинамике ракетно-космических систем [8, 9].

Особенности аэротермодинамики ОЧ РН, в отличие от РН, обусловлены рядом факторов, к числу которых могут быть отнесены особенности движения ОЧ РН в атмосфере. К основным особенностям движения ОЧ РН следует отнести следующие:

- 1) движение ОЧ РН в атмосфере является неуправляемым;
- 2) ОЧ РН начинают свое движение на высотах 40–200 км;
- 3) в момент отделения на ОЧ РН могут действовать различные возмущающие факторы, обусловленные особенностями системы разделения ступеней, что может привести к возникновению дополнительного момента вращения ОЧ РН относительно центра масс;
- 4) начальные скорости ОЧ РН в момент отделения могут изменяться в диапазоне 1–8 км/с.
- 5) в процессе движения в атмосфере скорость ступени уменьшается от гиперзвуковой (5–8 км/с) вплоть до дозвуковой (100–200 м/с) скорости полета.

При движении ОЧ РН в атмосфере возникают следующие режимы взаимодействия корпуса ОЧ РН с атмосферой [9]:

- молекулярный ($Kn > 10$);
- переходный ($1 < Kn < 10$);
- режим течений со скольжением ($0,01 < Kn < 1$);
- режим сплошной среды ($Kn < 0,01$; $H < 80$ км) (Kn – число Кнудсена).

Наибольшие силовые и тепловые нагрузки, оказывающие значимое влияние на параметры движения ОЧ РН, реализуются в режиме сплошной среды, что соответствует высотам полета ниже 90 км. В области сплошной среды реализуются следующие режимы обтекания корпуса ОЧ РН [3]:

- гиперзвуковой ($M = 4,5 \div 15$);
- сверхзвуковой ($M = 1,5 \div 4,5$);
- трансзвуковой ($M = 0,7 \div 1,5$);
- дозвуковой ($M = 0 \div 0,7$), (M – число Маха).

Числа Рейнольдса для ОЧ РН во всем диапазоне траектории движения в плотных слоях атмосферы ($H < 80$ км), как правило, превышают величину $5 \cdot 10^5$, поэтому пограничный слой вблизи ОЧ РН как правило турбулентный [8].

На основании вышеизложенных особенностей движения можно сделать вывод, что для построения моделей прогноза траекторий и полигонов падения ОЧ РН необходимо знание аэротермодинамических нагрузок на ОЧ РН и ее элементы в случае разрушения в широком диапазоне условий и режимов полета, что, в свою очередь, значительно усложняет задачу определения аэродинамических коэффициентов ОЧ РН и ее элементов.

Взаимодействие воздуха с движущейся в нем ОЧ РН приводит к появлению в каждой точке поверхности корпуса ОЧ РН элементарных сил давления, направленных по нормали к поверхности, и сил трения, действующих по касательной к ней. Все эти силы по законам механики могут быть приведены к одному главному вектору, называемому полной аэродинамической силой, и главному моменту относительно какой-либо точки приведения. Традиционно аэродинамическая сила определяется как главный вектор распределенных по поверхности тела нормальных и касательных сил и выражается с помощью формулы [10– 11]

$$R = c_R \frac{\rho_\infty V_\infty^2}{2} S, \quad (1)$$

где c_R – коэффициент аэродинамической силы;

ρ_∞ – плотность воздуха, кг/м³;

V_∞ – скорость движения ОЧ РН, м/с;

S – площадь миделя (характерного сечения корпуса ОЧ РН), м².

Рассматривая задачу определения силового нагружения корпуса ОЧ РН и возникающей аэродинамической силы, можно считать, что число Маха определяется как отношение скорости полета к скорости звука в газе [6]:

$$M = \frac{V_\infty}{a}, \quad (2)$$

где V_∞ – скорость полета (скорость набегающего потока), м/с;

a – скорость звука в воздухе в точке движения ОЧ РН, м/с.

Задача определения аэродинамических характеристик ОЧ РН, а также аэротермодинамического нагружения корпуса ОЧ РН имеет существенные отличия от соответствующих аэродинамических задач для ракеты-носителя. К числу этих особенностей относят следующие. Полет РН в атмосфере и на всем участке выведения, как правило, осуществляется на малых углах атаки, не превышающих 10°. Углы атаки, большие 8–10°, могут восприниматься как аварийные и практически не рассматриваются в задачах аэродинамики. Для аэродинамики ОЧ РН такое утверждение несправедливо. Движение ОЧ РН в разреженных и плотных слоях атмосферы может осуществляться под различными углами атаки, диапазон которых может составлять от 0 до 180°. Это обусловлено наличием неопределенных возмущающих факторов в момент отделения ОЧ РН от РН, наличием гарантированного запаса топлива на борту после отработки ступени, которое в процессе падения может поддерживать неравномерное нестационарное угловое движение ОЧ РН.

Аэродинамическая форма ОЧ РН является, как правило, сложной и плохообтекаемой. Дело в том, что при разработке РН и решении вопросов аэродинамики добиваются приемлемых значений аэродинамических коэффициентов и аэродинамических нагрузок. Носовая часть РН закрыта обтекателем, который помимо защиты КА от аэродинамических нагрузок решает задачу снижения аэродинамических нагрузок на корпус ракеты и обеспечения необходимых аэродинамических характеристик. В отличие от целой ракеты-носителя ОЧ РН представляют собой, как правило, сильно затупленные удлиненные тела вращения. При этом в носовой и кормовой части ОЧ РН могут располагаться дополнительные элементы конструкции – ферменные конструкции, элементы переходных отсеков, части двигательных установок – сопла. Все это усложняет и ухудшает условия обтекания корпуса ОЧ РН.

Расчет распределенных аэродинамических нагрузок по поверхности РН выполняется для определенных характерных случаев, которые соответствуют режимам максимального скоростного напора и углам атаки, близким к нулю. При расчете аэродинамических нагрузок ОЧ РН необходимо учитывать возможность движения ОЧ РН с большими углами атаки в области максимальных скоростных напоров.

При проектировании РН термодинамические нагрузки на корпус РН вследствие аэродинамического нагрева практически не рассматриваются, так как сосредоточены в области носового обтекателя. При движении ОЧ РН тепловые нагрузки гораздо выше, так как движение в атмосфере ОЧ РН начинается с высоких гиперзвуковых скоростей, которым и соответствуют области максимального аэродинамического нагрева.

Перечисленные выше факторы свидетельствуют о том, что расчет аэротермодинамического нагружения ОЧ РН, спускающихся в атмосфере, представляет собой сложную многопараметрическую задачу, которая существенно отличается от аналогичной задачи для РН.

В настоящее время отсутствуют надежные данные по аэродинамическим характеристикам корпусов ОЧ РН в диапазоне чисел Маха от 0 до 10, движущихся с различными углами атаки, скольжения и вращения.

К таким аэродинамическим характеристикам относятся зависимости коэффициента силы лобового сопротивления, коэффициента подъемной силы, коэффициента момента тангажа, коэффициента центра давления от углов атаки, скольжения и вращения, числа Маха, Рейнольдса [4]:

$$c_{xa}, c_{ya}, m_z, \bar{x}_d = f(\alpha, \beta, \gamma, M, Re), \quad (3)$$

где $c_{xa}, c_{ya}, m_z, \bar{x}_d$ – коэффициенты силы лобового сопротивления, подъемной силы, момента тангажа и центра давления соответственно;
 α, β, γ – углы атаки, скольжения и вращения соответственно;
 M – число Маха;
 Re – число Рейнольдса.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТДЕЛЯЕМЫХ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Как было сказано выше, полет ОЧ РН в атмосфере происходит с числами Рейнольдса, значительно превышающими величину $5 \cdot 10^5$. Известно, что при $Re > 5 \cdot 10^5$ пограничный слой на поверхности ОЧ РН является полностью турбулентным и аэродинамические коэффициенты перестают зависеть от числа Рейнольдса. Поэтому зависимость аэродинамических коэффициентов от числа Рейнольдса в данных условиях не является существенной и ее можно не учитывать [12, 13].

Если ОЧ РН имеет форму корпуса, близкую к осесимметричной, то можно не учитывать зависимость аэродинамических коэффициентов от угла скольжения и угла вращения, считая, что зависимость от угла вращения незначительна, а зависимость от угла скольжения аналогична зависимости от угла атаки.

Таким образом, систему уравнений (3) можно привести к упрощенному виду [9]:

$$c_{xa}, c_{ya}, m_z, \bar{x}_d = f(\alpha, M), \quad (4)$$

На основе зависимостей (4) можно решать упрощенный вариант уравнений движения ОЧ РН в атмосфере. При этом необходимо определение аэродинамических характеристик ОЧ РН в диапазоне чисел Маха 0–10 и углов атаки 0–180°.

В случае, если имеются значительные по размерам несимметричные надстройки на корпусе ОЧ РН, необходимо проведение дополнительных исследований по влиянию на аэродинамические характеристики углов скольжения и вращения.

На основе аэродинамических характеристик (4) могут быть получены статические производные устойчивости, вращательные производные устойчивости и производные по ускорению, которые используются для описания углового движения ОЧ РН в атмосфере.

Полученные аэродинамические характеристики могут быть использованы в качестве исходных данных для построения различных моделей движения ОЧ РН, кроме того, на основе

разработанных моделей движения ОЧ РН могут решаться задачи определения силовых и тепловых нагрузок на корпус ОЧ РН. Результаты решения последней задачи могут выступать в качестве исходных данных для построения моделей разрушения корпуса ОЧ РН и определения состава и вида фрагментов.

Основными методами получения аэродинамических характеристик отделяемых частей являются известные методы аэродинамики. К числу этих методов относятся следующие: аналитические методы, которые для тел простейшей формы (шара, цилиндра, конуса и их комбинаций) позволяют получить аналитические выражения зависимости аэродинамических коэффициентов от определяющих параметров, таких как угол атаки и число Маха. Однако данные методы работоспособны только в ограниченных диапазонах углов атаки или чисел Маха, что не позволяет получать непрерывные поля аэродинамических характеристик в требуемых диапазонах определяющих параметров.

Вторым методом получения аэродинамических характеристик является метод численного моделирования, основанный на численном решении систем уравнений Эйлера или Навье-Стокса с соответствующими начальными и граничными условиями. Данные методы позволяют достаточно точно определить значения аэродинамических коэффициентов, однако недостатком данного метода является высокая трудоемкость.

Еще одним методом получения аэродинамических характеристик корпусов ОЧ РН является экспериментальный метод. К достоинствам данного метода можно отнести удовлетворительную точность, а к недостаткам – узкие диапазоны воспроизводимых режимов обтекания в существующих аэродинамических установках, что требует применения нескольких видов аэродинамических труб, моделирующих обтекание ОЧ РН в различных диапазонах чисел Маха.

Таким образом, применяемые для расчета аэродинамических характеристик РН методы не в полной мере удовлетворяют требованиям методик исследования движения ОЧ РН. Это определило необходимость разработки методики, позволяющей рассчитывать аэродинамические коэффициенты в требуемых диапазонах определяющих параметров.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТДЕЛЯЕМЫХ ЧАСТЕЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Достаточно простая методика определения аэродинамических характеристик ОЧ РН во всем диапазоне чисел Маха, реализующихся при движении, представлена в [8].

Отделяемые части, как правило, имеют цилиндрические формы, поэтому в первом приближении (без учета деталей, расположенных на поверхности) их аэродинамические характеристики близки по величине и характеру изменения в функции углов атаки и скольжения к характеристикам изолированных цилиндров.

Характер обтекания и аэродинамические характеристики цилиндрического тела вращения с плоским торцом зависят от большого числа факторов, которые не всегда могут моделироваться при проведении экспериментальных исследований. Кроме того, сами условия аэродинамического эксперимента могут существенно искажать аэродинамические характеристики исследуемых цилиндрических тел. Несмотря на простоту геометрии цилиндрического тела, получение надежных и однозначных аэродинамических характеристик представляет собой весьма сложную экспериментальную задачу. Косвенным подтверждением этого является сравнение результатов экспериментов, полученных в различных условиях различными авторами. Особую остроту этот факт приобретает при попытках определения аэродинамических характеристик цилиндрических тел вращения различного удлинения при круговом обтекании, т. е. в диапазоне углов атаки от 0° до 90° . Чтобы получить общее представление об изменении аэродинамических характеристик в этом случае, неизбежно приходится использовать осреднение полученных в эксперименте данных с последующей их корректи-

ровкой по имеющимся экспериментальным данным для крайних и наиболее определенных случаев обтекания, каковыми являются продольное и поперечное обтекание цилиндрических тел.

В связи со сказанным выше на основании большого количества экспериментальных исследований были получены осредненные зависимости, приведенные на рис. 1–3 [4]. Удлинение цилиндрических тел варьировалось в диапазоне $l/d = 4 \dots 10$. Чтобы в какой-то мере исключить или уменьшить влияние удлинения цилиндров, продольная сила была отнесена к площади поперечного сечения цилиндра, а нормальная сила – к площади продольного сечения. Полученные таким образом зависимости осреднялись для заданного числа M_∞ . Приведенные на рис. 1–3 зависимости можно использовать для оценки аэродинамических характеристик круговых цилиндров с плоским торцом в указанном диапазоне удлинений.

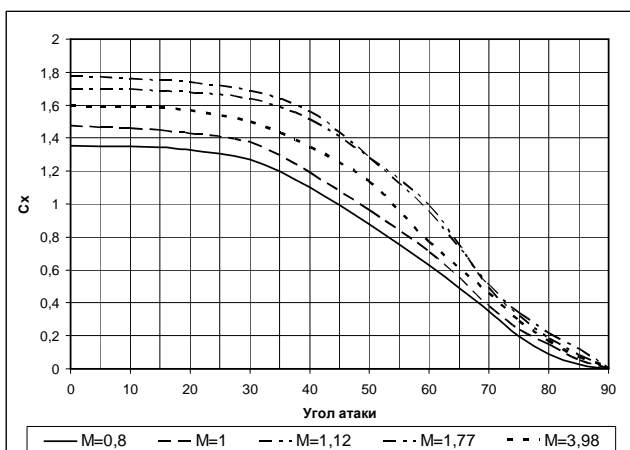


Рис. 1. Зависимость коэффициента продольной силы цилиндра от угла атаки при различных числах M_∞ [8]

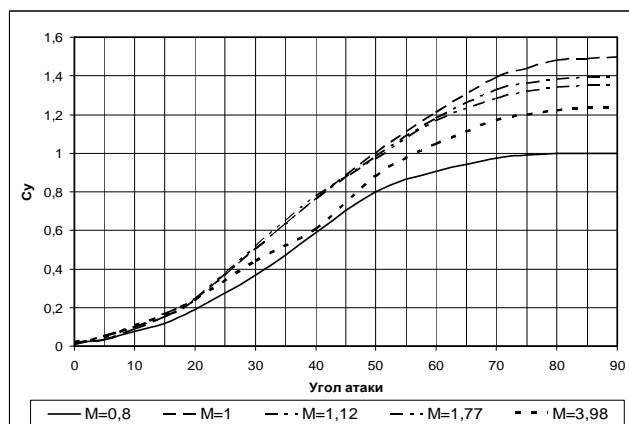


Рис. 2. Зависимость коэффициента нормальной силы цилиндра, приведенная к единичной длине, от угла атаки при различных числах M_∞ [8]

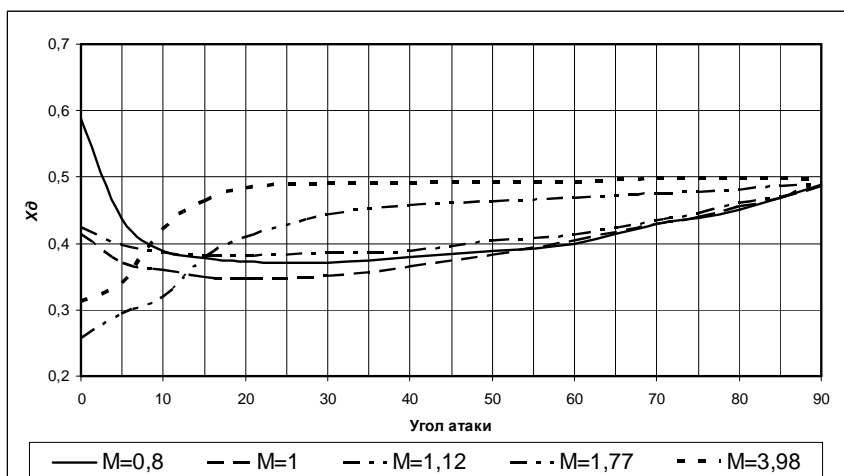


Рис. 3. Зависимость коэффициента центра давления цилиндра от угла атаки при различных числах M_∞ [8]

Форма конкретной отделяемой части может отличаться от идеальной цилиндрической формы. В частности, торцевая поверхность может быть как выпуклой, так и вогнутой. Из донной части могут выступать сопла двигателей. На боковой поверхности могут располагаться всевозможные надстройки, включая и плоскости стабилизаторов. Поэтому в случае

использования приведенных данных следует иметь в виду, что коэффициент продольной силы при $\alpha = 0^\circ$ у конкретных отделяемых частей в ряде случаев оказывается на 40...60 % меньше, чем у цилиндра с плоским торцом. Коэффициент нормальной силы при $\alpha = 90^\circ$ (в зависимости от формы отделяемой части и числа M полета) может быть, как меньше (до 12 %), так и больше (до 20 %) соответствующей величины для цилиндра. При этом положение центра давления может смещаться до 40 % от длины отделяемой части.

Предлагается корректировать представленные на рис. 1–3 зависимости с учетом формы торцевых частей ОЧ РН, а также формы корпуса. Это позволяет с достаточной степенью точности определить значения аэродинамических коэффициентов (АДК) при углах атаки 0, 90 и 180°. После этого промежуточные значения АДК определяются путем интерполяции зависимостей, представленных на рис. 1–3, с учетом значений АДК в базовых точках.

Изложенный выше подход позволяет определять аэродинамические характеристики ОЧ РН, близкой к цилиндрической форме корпуса, скорректированные с учетом формы торцевых частей.

Так, для упрощенной аэродинамической формы ОЧ «Блок А» с учетом значений коэффициентов сопротивления тел различной формы были получены сводные круговые аэродинамические характеристики, которые представлены на рис. 4.

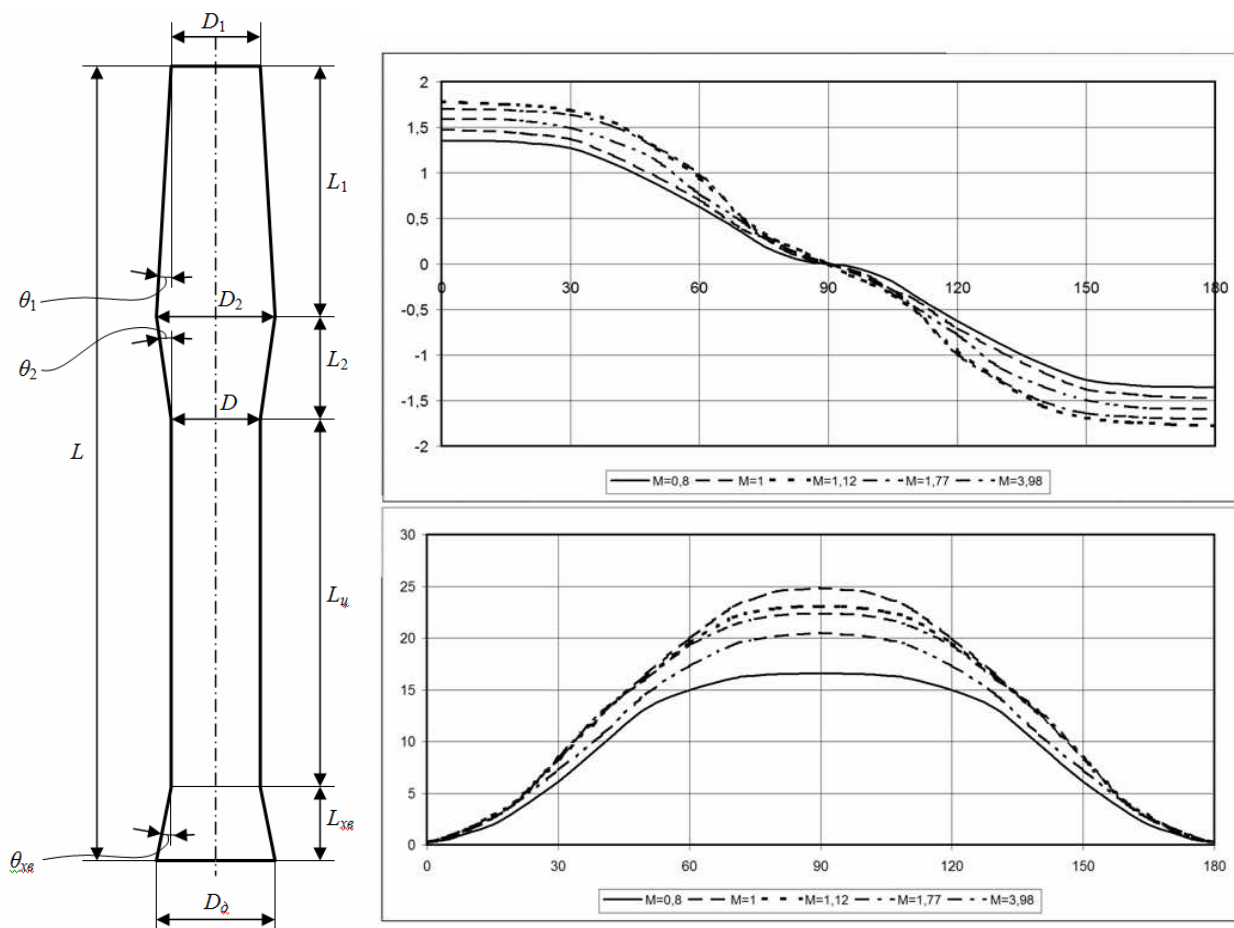


Рис. 4. Круговые аэродинамические характеристики упрощенной геометрической модели корпуса ОЧ «Блок А» РН типа «Союз»

Представленные на рис. 4 аэродинамические характеристики использовались при исследовании пространственного движения ОЧ «Блок А» РН типа Союз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача определения аэродинамических характеристик отделяемых частей ракет-носителей в широком диапазоне углов атаки и чисел Маха является актуальной и позволяет строить более точные модели движения ОЧ РН на участке падения.

Рассматриваемая в публикации методика позволяет с приемлемой точностью оценить значения аэродинамических коэффициентов – коэффициента лобового сопротивления, коэффициента подъемной силы и коэффициента момента тангажа в требуемом диапазоне чисел Маха и углов атаки. Предложенные аэродинамические характеристики использовались при прогнозировании районов падения ОЧ РН, а также при решении частных задач нагружения корпуса ОЧ РН на этапе падения и определения кинематических параметров на этапе спуска.

Список используемых источников

1. Особенности неуправляемого движения в атмосфере отделяемых частей космических ракет-носителей / А.А. Голиков, В.В. Демешкина, А.П. Леутин, А.С. Филатьев // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 435, № 4. – С. 470–474.

2. *Аверкиев Н.Ф., Булекбаев Д.А.* Прогнозирование районов падения отделяемых частей ракет-носителей с учетом информации измерительных средств // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 12. – С. 3–6.

3. Проблемные вопросы использования трасс запусков космических аппаратов и районов падения отделяющихся частей ракет космического назначения: монография / Н.Ф. Аверкиев, В.Н. Арсеньев, К.Б. Болдырев и др.; под ред. д-ра техн. наук М.М. Пенькова и д-ра техн. наук А.С. Фадеева. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 426 с.

4. *Беневольский С.В., Гончаренко В.И.* Перспективные технологии решения краевых задач доставки отделяющихся частей ракет-носителей с терминальным наведением // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2011. – № 2 (26). – С. 18–28.

5. *Казимиров А.В., Ведерников М.В.* Коррекция траектории спуска отработавшей ступени ракеты-носителя с помощью остатков компонентов ракетного топлива // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. – СПб., 2016. – С. 191–195.

6. *Поляков П.П.* Управление отделяемыми частями ракет-носителей с целью сокращения районов падения // Лесной вестник. – 2015. – № 3. – С. 90–94.

7. *Трушляков В.И., Куденцов В.Ю.* Выведение ракет космического назначения с реализацией управляемого спуска отделяющихся частей в заданные районы падения // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (97). – С. 92–95.

8. *Петров К.П.* Аэродинамика транспортных космических систем. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 368 с.

9. *Петров К.П.* Аэродинамика элементов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1985. – 271 с.

10. Аэрогидродинамика летательных аппаратов: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – Ч.1. Газовая динамика и аэродинамика летательных аппаратов / А.С. Юрьев, И.Г. Грачёв, В.М. Низовцев и др.; под ред. А.С. Юрьева. – 435 с.

11. *Микеладзе В.Г., Титов В.М.* Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и ракет. – М.: Машиностроение, 1982. – 149 с.

12. Аэродинамика ракет / Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошевой, А.Н. Данилов, В.Ф. Захарченко. – М.: Высшая школа, 1968. – 772 с.

13. Аэродинамика ракет: в 2 кн.: пер с англ. / под ред. М. Хемша, Дж. Нилсена. – М.: Мир, 1989. – Кн. 1. – 426 с.

А.Н. Дьяков,
кандидат техн. наук

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

На современном этапе конкурентной борьбы на рынке вооружения, технологического развития его производства и эксплуатации возрастает роль свойств, характеризующих боевую и эксплуатационную эффективность. Как правило, заказчик предъявляет требования к номенклатуре показателей, характеризующих эффективность, исходя из собственных предпочтений, однако ряд современных стандартов 2008–2015 гг. указывают на необходимость применения эксплуатационно-экономической эффективности в качестве одного из комплексных показателей. В то же время методология расчета показателя этого свойства в указанных документах не приводится.

В публикации предложена модель, которая устанавливает зависимость между показателями, характеризующими свойства безотказности, ремонтпригодности образца вооружения, длительностью его технического обслуживания и ремонта (ТОиР), состава его комплекта запасных частей инструментов и принадлежностей (ЗИП), ресурсоемкости указанных эксплуатационных процессов, с одной стороны, и показателем готовности и затрат на ТОиР образца вооружения, с другой стороны. Полученная зависимость в отличие от известных определяет взаимосвязь показателей системы эксплуатации вооружения с учетом показателей надежности и состава его комплекта ЗИП, а полученный в результате расчета парный показатель (готовность – затраты) может быть использован в качестве комплексного показателя эксплуатационно-экономической эффективности. Практическая значимость представленной модели обусловлена возможностью обоснования требований к перечисленным параметрам системы эксплуатации вооружения, которые обеспечат требуемый показатель готовности при минимальных затратах. В статье приводится пример расчета показателей.

Ключевые слова: эксплуатационно-экономическая эффективность, ресурсоемкость эксплуатационных процессов, расчет коэффициента готовности.

ВВЕДЕНИЕ

В течение последнего десятилетия получила широкое развитие концепция управления жизненным циклом продукции. Не стал исключением и оборонно-промышленный комплекс. Так, разработан и реализуется комплекс руководящих документов, обеспечивающих широкое внедрение технологий управления в жизненный цикл вооружения. Одним из ключевых документов послужил Указ Президента Российской Федерации 2012 года № 603 «О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса». С другой стороны, разработано значительное количество новых государственных стандартов, призванных обеспечить понятийную базу внедрения указанных положений.

Ряд базовых стандартов предусматривает применение в качестве целевого критерия эффективности вооружения «эксплуатационно-экономическую эффективность» [1 – 4 и др.].

В [2, 3] термин эксплуатационно-экономическая эффективность определяется как мера совершенства конструкции изделия (образца, комплекса) и системы их технической эксплуатации, отражающая соотношение характеристик готовности и стоимости владения. Показатель такого интегрального свойства характеризует не только надежность и технологичность вооружения, но и систему его эксплуатации, а также обладает высокой информативностью. Несмотря на это, ни в указанных [1 – 4], ни в других современных источниках вопросам моделирования, обоснования и расчета показателя этого комплексного свойства не уделяется достаточного внимания.

Государственный заказчик предъявляет требования, характеризующие эффективность вооружения исходя из свойств конкретного образца. Рассматривая систему эксплуатации образцов вооружения Космических войск, выделим ряд свойств, оказывающих наибольшее

влияние на эффективность их применения и эксплуатации. К таким свойствам можно отнести надежность, длительность технического обслуживания и ремонта (ТОиР), а также затраты на выполнение мероприятий ТОиР. Известно значительное количество моделей, обеспечивающих расчет готовности по параметрам надежности, для подобных моделей расчет стоимости затрат рассчитывается параллельно, с помощью экономических моделей. Влияние состава ЗИП на готовность вооружения и затрат на его приобретение и хранение также многократно исследовалось в известных работах. Однако указанные вопросы исследовались отдельно. Вопрос взаимного влияния показателей, характеризующих безотказность, ремонтпригодность образца вооружения, длительность ТОиР, состав его комплекта ЗИП, ресурсоемкость указанных эксплуатационных процессов, представляется недостаточно изученным. Все указанные показатели входят в состав системы эксплуатации вооружения и, несомненно, оказывают влияние на готовность и ресурсоемкость эксплуатационных процессов, а значит, должны быть исследованы совместно, что свидетельствует об актуальности рассматриваемых вопросов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТКАЗОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Рассмотрим систему взаимосвязи функционального состояния, технического обслуживания и ремонта эксплуатируемой системы вооружения (агрегата). Допустим, агрегат может находиться в работоспособном либо в неработоспособном состоянии. Эксплуатационные процессы опишем графовой моделью, представленной на рис. 1.

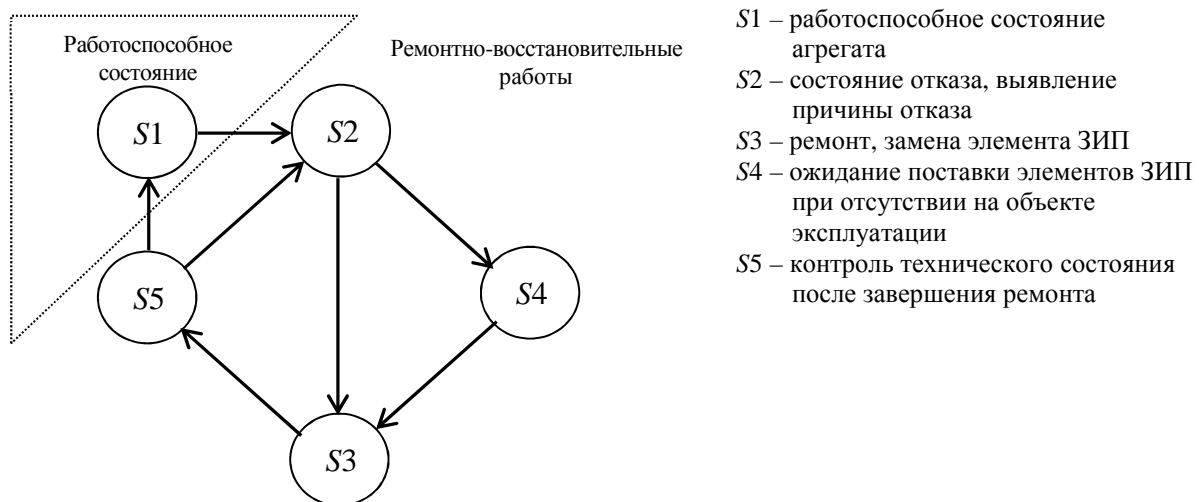


Рис. 1. Граф модели эксплуатационно-экономической эффективности

Допустим, агрегат может находиться одновременно только в одном состоянии $i = 1, 2, \dots, n$ из множества возможных ($i \in E$). Поток изменения состояний простейший. В начальный момент времени $t=0$ система находится в работоспособном состоянии S1. Через случайное время τ_1 элемент мгновенно переходит в новое состояние $j \in E$ с вероятностью $p_{ij} \geq 0$, причем $\sum_{j \in E} p_{ij} \leq 1$ для любого $i \in E$. В состоянии j элемент пребывает случайное время, прежде чем переходит в следующее состояние.

Функции, описывающие переход от i -го к j -му состоянию графа, заданы и представлены в табл. 1.

Переход из работоспособного состояния в состояние отказа и процесс восстановления ра-

ботоспособного состояния опишем соответственно экспоненциальным законом распределения и законом Эрланга. В ряде работ [5 – 7] обосновывается применение указанных законов, которые достаточно адекватно описывают длительный эксплуатационный процесс для суммы большого числа независимых стационарных потоков, являющихся асимптотическим пуассоновским потоком. Другие переходы между состояниями описываются вырожденными законами, представленными в табл. 1, а кроме того, переходы $S2-S3$ и $S2-S4$ определяются вероятностью достаточности комплекта ЗИП, которая определяется в соответствии с [8] по закону Пуассона.

Для построения аналитической зависимости используются следующие частные показатели системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР):

- ω_1 – параметр потока отказов агрегата в работоспособном состоянии;
- ω_3 – параметр потока восстановления отказов (параметр Эрланга);
- ω_5 – параметр потока отказов выявляемых при контроле технического состояния агрегата после установки элементов ЗИП (обусловлен математическим ожиданием срока сохраняемости элементов ЗИП);
- $T_{\text{Пост}}$ – длительность ожидания поставки элементов ЗИП, отсутствующих на объекте эксплуатации;
- T_d – длительность диагностирования, выявления причины отказа, поиска отказавшего элемента;
- $T_{\text{Ктс}}$ – длительность контроля технического состояния после замены элемента ЗИП;
- n – количество элементов в составе агрегата;
- m – количество элементов в составе ЗИП.

Таблица 1

Законы переходов от i -го к j -му состоянию графа

| $i \backslash j$ | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|------------------|---|-----------------------|--|--|---------------------------------------|
| S1 | – | $1 - e^{-\omega_1 t}$ | – | – | – |
| S2 | – | – | $\begin{cases} 0, & \text{при } t < T_d \\ 1, & \text{при } t \geq T_d \end{cases}$ $p_{23} = P_{\text{ДостЗИП}}$ | $\begin{cases} 0, & \text{при } t < T_d \\ 1, & \text{при } t \geq T_d \end{cases}$ $p_{24} = 1 - P_{\text{ДостЗИП}}$ | – |
| S3 | – | – | – | – | $1 - (1 + \omega_3 t)e^{-\omega_3 t}$ |
| S4 | – | – | $\begin{cases} 0, & \text{при } t < T_{\text{Пост}} \\ 1, & \text{при } t \geq T_{\text{Пост}} \end{cases}$ | – | – |
| S5 | $\begin{cases} 0, & \text{при } t < T_{\text{Ктс}} \\ 1, & \text{при } t \geq T_{\text{Ктс}} \end{cases}$ | $1 - e^{-\omega_5 t}$ | – | – | – |

Для получения аналитической зависимости, характеризующей модель, использован широко известный подход исследования полумарковских процессов с вложенными марковскими цепями, приведенный в [5, 9, 10]. Во избежание повторения известных положений опустим вывод и приведем итоговые выражения, характеризующие состояния графовой модели в табл. 2.

Таблица 2

Зависимости, описывающие свойства графовой модели

| Переходы $i-j$ | $Q_{ij}(t)$ | p_{ij} | $F_i(t)$ | \bar{t}_i |
|----------------|--|---|--|--|
| S1-S2 | $Q_{12} = 1 - e^{-\omega_1 t}$ | $p_{12} = 1$ | $F_1(t) = 1 - e^{-\omega_1 t}$ | $\bar{t}_1 = \frac{1}{\omega_1}$ |
| S2-S3 | $Q_{23} = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T_d \\ 1, & \text{при } t \geq T_d \end{cases}$ | $p_{23} = e^{-n\lambda_1 T_d} \sum_{k=0}^m \frac{(n\lambda_1 T_d)^k}{k!}$ | $F_2(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T_d \\ 1, & \text{при } t \geq T_d \end{cases}$ | $\bar{t}_2 = T_d$ |
| S2-S4 | $Q_{24} = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T_d \\ 1, & \text{при } t \geq T_d \end{cases}$ | $p_{24} = 1 - e^{-n\lambda_1 T_d} \sum_{k=0}^m \frac{(n\lambda_1 T_d)^k}{k!}$ | | |
| S3-S5 | $Q_{35} = 1 - (1 + \omega_3 t)e^{-\omega_3 t}$ | $p_{35} = 1$ | $F_3(t) = 1 - (1 + \omega_3 t)e^{-\omega_3 t}$ | $\bar{t}_3 = \frac{2}{\omega_3}$ |
| S4-S3 | $Q_{43} = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T_{\text{Пост}} \\ 1, & \text{при } t \geq T_{\text{Пост}} \end{cases}$ | $p_{43} = 1$ | $F_4(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T_{\text{Пост}} \\ 1, & \text{при } t \geq T_{\text{Пост}} \end{cases}$ | $\bar{t}_4 = T_{\text{Пост}}$ |
| S5-S1 | $Q_{51} = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T_{\text{Крс}} \\ 1, & \text{при } t \geq T_{\text{Крс}} \end{cases}$ | $p_{51} = e^{-\omega_5 T_{\text{Крс}}}$ | $F_5(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\omega_5 t}, & \text{при } t < T_{\text{Крс}} \\ 1, & \text{при } t \geq T_{\text{Крс}} \end{cases}$ | $\bar{t}_5 = \frac{1}{\omega_5} - \frac{1}{\omega_5} e^{-\omega_5 T_{\text{Крс}}}$ |
| S5-S2 | $Q_{52} = 1 - e^{-\omega_5 t}$ | $p_{52} = 1 - e^{-\omega_5 T_{\text{Крс}}}$ | | |

В табл. 2 обозначено: $Q_{ij}(t)$ – закон распределения времени перехода между состояниями; p_{ij} – вероятность перехода между состояниями; $F_i(t)$ – безусловные функции распределения времени нахождения в состоянии; \bar{t}_i – математическое ожидание времени нахождения в состоянии.

Для определения стационарных вероятностей состояний графа составим уравнения вложенной марковской цепи [5, 9, 10]:

$$\begin{cases} \pi_1 = p_{51}\pi_5; \\ \pi_2 = p_{12}\pi_1 + p_{52}\pi_5; \\ \pi_3 = p_{23}\pi_2 + p_{43}\pi_4; \\ \pi_4 = p_{24}\pi_2; \\ \pi_5 = p_{35}\pi_3. \end{cases} \quad (1)$$

Добавляя нормирующее уравнение $\sum \pi_i = 1$ и решая систему уравнений методом подстановки, получены выражения для стационарных вероятностей вложенной марковской цепи:

$$\pi_1 = \frac{P_{51}}{2 + 2p_{51} + p_{52} + p_{24}P_{51} + p_{24}P_{52}}; \quad (2)$$

$$\pi_2 = \frac{P_{12}P_{51} + P_{52}}{2 + 2p_{51} + p_{52} + p_{24}P_{51} + p_{24}P_{52}}; \quad (3)$$

$$\pi_3 = \frac{1}{2 + 2p_{51} + p_{52} + p_{24}P_{51} + p_{24}P_{52}}; \quad (4)$$

$$\pi_4 = \frac{P_{24}P_{12}P_{51} + P_{52}P_{24}}{2 + 2p_{51} + p_{52} + p_{24}P_{51} + p_{24}P_{52}}; \quad (5)$$

$$\pi_5 = \frac{1}{2 + 2p_{51} + p_{52} + p_{24}p_{51} + p_{24}p_{52}}. \quad (6)$$

Математическое ожидание длительности одного полного перехода по состояниям можно найти как сумму $\bar{t} = \sum_{i=1}^n \pi_i \bar{t}_i$. Полученное выражение представим через π_3 в виде

$$\bar{t} = \bar{t}_1 p_{51} \pi_3 + \bar{t}_2 \pi_3 + \bar{t}_3 \pi_3 + \bar{t}_4 p_{24} \pi_3 + \bar{t}_5 \pi_3. \quad (7)$$

Найдем вероятности состояний исследуемого полумарковского процесса как $P_i = \frac{\pi_i \bar{t}_i}{\bar{t}}$:

$$P_1 = \frac{p_{51} \pi_3 \bar{t}_1}{\pi_3 (\bar{t}_1 p_{51} + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4 p_{24} + \bar{t}_5)}; \quad (8)$$

$$P_2 = \frac{\pi_3 \bar{t}_2 (p_{51} + p_{52})}{\pi_3 (\bar{t}_1 p_{51} + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4 p_{24} + \bar{t}_5)}; \quad (9)$$

$$P_3 = \frac{\pi_3 \bar{t}_3}{\pi_3 (\bar{t}_1 p_{51} + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4 p_{24} + \bar{t}_5)}; \quad (10)$$

$$P_4 = \frac{\pi_3 \bar{t}_4 (p_{51} p_{24} + p_{52} p_{24})}{\pi_3 (\bar{t}_1 p_{51} + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4 p_{24} + \bar{t}_5)}; \quad (11)$$

$$P_5 = \frac{\pi_3 \bar{t}_5 p_{35}}{\pi_3 (\bar{t}_1 p_{51} + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4 p_{24} + \bar{t}_5)}. \quad (12)$$

Полученные зависимости определяют вероятности состояний исследуемого эксплуатационного процесса, они интересны прежде всего тем, что их физический смысл характеризует эффективность подсистемы ремонта как составную часть системы эксплуатации. Так, например, показатель P_1 представляет собой коэффициент готовности, а выражение (8) моделирует его связь с параметрами безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости. Коэффициент готовности характеризует надежность агрегата, однако для оценивания эффективности эксплуатационных процессов требуется еще не менее одного показателя, в качестве которого в [11, 12 и др.] предлагается использовать величину эксплуатационных затрат.

РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

Для оценивания величины затрат и сопоставления полученного значения соответствующему коэффициенту готовности используем ранее рассмотренный подход [5, 9, 10]. Опуская вывод аналитических зависимостей, аналогичный описанному в приведенных источниках, представим выражение для расчета величины затрат, соответствующих коэффициенту готовности, определяемому выражением (8):

$$\bar{C} = \frac{1}{\bar{t}} \sum_{i=1}^n \pi_i \left[C_{ii} \bar{t}_i + \sum_{j \in E} p_{ij} C_{ij} \right], \quad (13)$$

где C_{ii} – средние затраты за единицу времени пребывания в i -м состоянии;
 C_{ij} – средние затраты на переход из i -го состояния в j -е.

Допустим затраты пропорциональны времени пребывания в i -м состоянии, $C_{ij} \equiv 0$, расчет затрат на единицу времени эксплуатационного процесса можно провести по выражению

$$\bar{C} = \frac{1}{\bar{t}} \sum_{i=1}^n C_{ii} \pi_i \bar{t}_i = \frac{1}{\bar{t}} [C_1 \pi_1 \bar{t}_1 + C_2 \pi_2 \bar{t}_2 + C_3 \pi_3 \bar{t}_3 + C_4 \pi_4 \bar{t}_4 + C_5 \pi_5 \bar{t}_5]. \quad (14)$$

Подставляя (1)–(7), получим выражение

$$\bar{C} = \frac{C_1 \bar{t}_1 p_{51} + C_2 \bar{t}_2 + C_3 \bar{t}_3 + C_4 \bar{t}_4 p_{24} + C_5 \bar{t}_5}{\bar{t}_1 p_{51} + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4 p_{24} + \bar{t}_5}, \quad (15)$$

которое послужит для расчета среднегодовых затрат на эксплуатацию рассматриваемого агрегата.

Аналогичный показатель для всего срока службы агрегата составит

$$\bar{C}_{\text{СрСл}} = \bar{C} \bar{T}_{\text{СрСл}}, \quad (16)$$

где $\bar{T}_{\text{СрСл}}$ – математическое ожидание срока службы агрегата.

Рассмотрим величины эксплуатационных затрат. Обозначим затраты, обусловленные нахождением системы в работоспособном состоянии, C_1 . Существуют различные подходы к описанию составляющих эксплуатационных затрат [11 – 13]. В рамках статьи вопрос анализа затрат не рассматривается, для применения в составе разрабатываемой модели принимается упрощенная вспомогательная модель расчета затрат для каждого i -го состояния:

$$C_i = C_{i1} + C_{i2} + C_{i3}(m), \quad (17)$$

где C_{i1} – затраты, обусловленные необходимостью содержания обслуживающего персонала в течение времени нахождения в i -м состоянии;

C_{i2} – затраты, обусловленные затратами различного рода ресурсов, тепло- водоснабжение, освещение, обеспечение сохранности агрегата и т. д. в i -м состоянии;

$C_{i3}(m)$ – затраты на запасные части, инструменты и принадлежности (ЗИП), их хранение и обслуживание в i -м состоянии (переменная составляющая моделирует зависимость затрат от количества элементов ЗИП – m , и коэффициента – k_i относительного вклада каждого элемента в результирующее значение C_i), определяется как $C_{i3}(m) = C_{i2}(1 + k_i m)$.

Полученная модель обеспечивает расчет эксплуатационных затрат (15), (16), (17) дополняет результат, полученный с помощью (8), тем самым устанавливая зависимость между показателями, характеризующими свойства безотказности, ремонтпригодности образца вооружения, длительностью его ТОиР, состава его комплекта ЗИП, ресурсоемкости указанных эксплуатационных процессов, с одной стороны, и показателями готовности и затрат, с другой стороны. Полученная зависимость в отличие от известных моделирует функционирование системы эксплуатации вооружения с учетом показателей надежности и состава его комплекта ЗИП, а полученный в результате расчета парный показатель (готовность – затраты) может быть использован в качестве комплексного показателя эксплуатационно-экономической эффективности. Практическая значимость представленной модели обусловлена возможностью обоснования требований к эффективной системе эксплуатации при решении так называемой обратной задачи, так как она позволяет обосновать значения рассмотренных выше показателей, которые обеспечат требуемую готовность при минимальных затратах.

Результат расчета полученной зависимости представлен в виде соотношения коэффициента готовности к затратам $K_G - \bar{C}$, который предлагается использовать в качестве показателя комплексного свойства эксплуатационно-экономической эффективности (ЭЭЭ).

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Рассмотрим применение модели для расчета показателей эксплуатационно-экономической эффективности агрегата 11Г111. Пусть поток отказов простейший, параметр потока отказов примем равным интенсивности отказов, аналогично примем параметры потока ω_3 и ω_5 как величины обратно пропорциональные математическим ожиданиям длительностей соответствующих процессов, представим значения в табл. 3.

Таблица 3

Параметры системы эксплуатации агрегата

| Показатель | Обозначение | Величина | Единицы измерения |
|---|---|------------------------|-------------------|
| Параметр потока отказов агрегата в работоспособном состоянии | $\omega_1 \equiv \lambda_1$ | 0,00025 | час ⁻¹ |
| Параметр потока восстановления отказов (параметр Эрланга) | $\omega_3 \equiv \frac{1}{T_B}$ | 0,083 | час ⁻¹ |
| Параметр потока отказов, выявляемых при контроле технического состояния агрегата после установки элементов ЗИП, обусловлен математическим ожиданием срока сохраняемости элементов ЗИП | $\omega_5 \equiv \frac{1}{T_{\text{Сохр}}}$ | 0,000117 | час ⁻¹ |
| Длительность ожидания поставки элементов ЗИП, отсутствующих на объекте эксплуатации | $T_{\text{Пост}}$ | 80 | час |
| Длительность диагностирования, выявления причины отказа, поиска отказавшего элемента | T_d | 2 | час |
| Длительность контроля технического состояния после замены элемента ЗИП | $T_{\text{Ктр}}$ | 1,5 | час |
| Количество элементов в составе агрегата | n | 4 | единиц |
| Количество элементов в составе ЗИП | m | 0,4,5,6,7,8,9,10,11,12 | элементов |
| Величина затрат при нахождении агрегата в состоянии S1 | $C_1 = f(m)$ | $580 + m \cdot 8$ | ден. ед. |
| Величина затрат при нахождении агрегата в состоянии S2, S5 (в представленной постановке задачи затраты после отказа и при контроле технического состояния не отличаются от C_1) | $C_2 = f(m)$ $C_5 = f(m)$ | $580 + m \cdot 8$ | ден. ед. |
| Величина затрат при нахождении агрегата в состоянии S3 | $C_3 = f(m)$ | $700 + m \cdot 8$ | ден. ед. |
| Величина затрат при нахождении агрегата в состоянии S4 | $C_4 = f(m)$ | $1380 + m \cdot 80$ | ден. ед. |

С помощью модели, представленной выражениями (8), (15)–(17) рассчитаны K_G и \bar{C} , значения которых приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения показателей ЭЭЭ при различных комплектах ЗИП

| m | Количество элементов m в составе ЗИП, шт. | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| K_{Γ} | 0,974 | 0,975 | 0,976 | 0,978 | 0,981 | 0,984 | 0,986 | 0,988 | 0,99 | 0,991 |
| ΔK_{Γ} | 0 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 |
| \bar{C} | 2981 | 3162 | 3200 | 3234 | 3263 | 3289 | 3314 | 3340 | 3368 | 3399 |
| $\Delta \bar{C}$ | 0 | 0,18 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,03 |

Зависимости готовности и величины затрат от количества элементов в комплекте ЗИП, а также приращение указанных функций графически представлены на рис. 2–5.

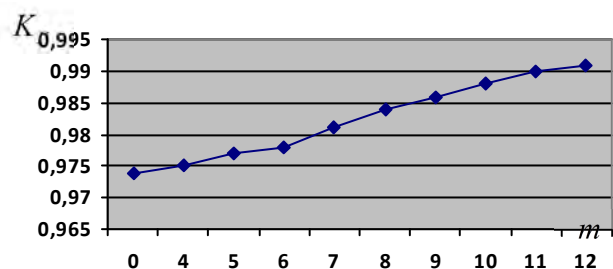


Рис. 2. Зависимость готовности агрегата от комплекта ЗИП

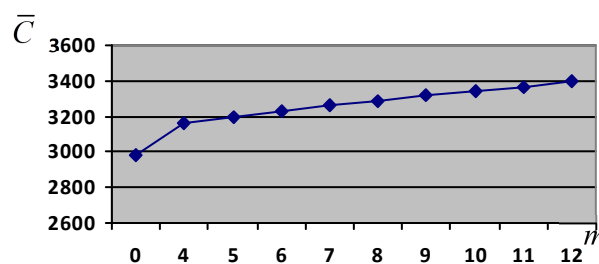


Рис. 3. Зависимость эксплуатационных затрат агрегата от комплекта ЗИП

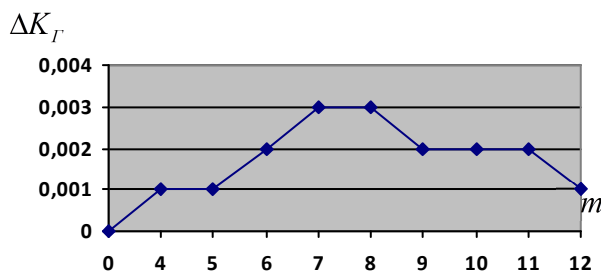


Рис. 4. Приращение готовности агрегата для каждого элемента комплекта ЗИП

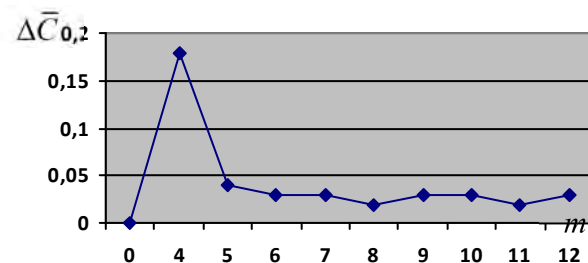


Рис. 5. Приращение эксплуатационных затрат для каждого элемента ЗИП

Как видно, на графиках, представленных на рис. 2–5, с изменением количества элементов ЗИП меняется значение коэффициента готовности агрегата и величины эксплуатационных затрат. Также интерес представляет тот факт, что приращение функции неоднородно, а значит, существует возможность оптимизации эксплуатационных процессов.

Представленная модель пригодна не только для решения «прямой задачи» расчета показателей ЭЭЭ для конкретного агрегата. Как видно из рис. 6 и 7, где представлены функции изменения готовности и затрат при возможном изменении параметра потока отказов (интенсивности отказов составной части агрегата), существует возможность нахождения оптимального решения, обеспечивающего требуемый показатель готовности при минимальных затратах. Аналогично могут быть исследованы зависимости при варьировании другими параметрами.

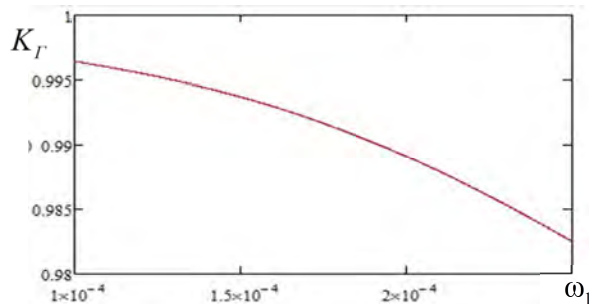


Рис. 6. Зависимость готовности от параметра потока отказов

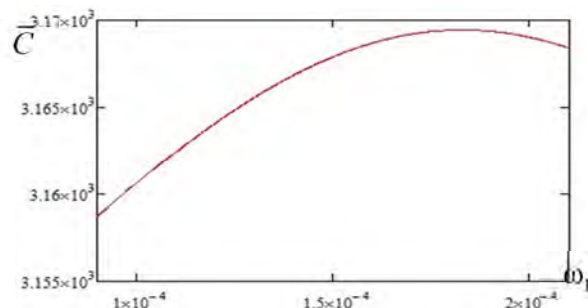


Рис. 7. Зависимость величины затрат от параметра потока отказов

Таким образом, представленная модель может быть использована и при решении так называемой «обратной задачи» – выборе всей номенклатуры эксплуатационных параметров из множества возможных, например при проектировании нового образца вооружения и его системы технического обслуживания и ремонта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В публикации предложена модель, которая используется для расчета показателя эксплуатационно-экономической эффективности. Представленная зависимость устанавливает зависимость между показателями, характеризующими свойства безотказности, ремонтно-пригодности образца вооружения, длительностью его технического обслуживания и ремонта (ТОиР), составом его комплекта ЗИП, ресурсоемкостью эксплуатационных процессов, с одной стороны, и показателями готовности и затрат на ТОиР – с другой. Полученная зависимость, в отличие от известных, моделирует функционирование системы эксплуатации вооружения с учетом показателей надежности и состава его комплекта ЗИП, а полученный в результате расчета парный показатель (готовность – затраты) может быть использован в качестве комплексного показателя эксплуатационно-экономической эффективности. Практическая значимость представленной модели обусловлена возможностью обоснования требований к перечисленным параметрам системы эксплуатации вооружения, которые обеспечивают требуемый показатель готовности при минимальных затратах, при решении так называемой «обратной задачи».

В работе приводится пример расчета показателей эксплуатационно-экономической эффективности агрегата 11Г111, графически показана потенциальная возможность оптимизации эксплуатационных процессов при совместном использовании представленной модели и одного из методов оптимизации, например покоординатного спуска.

На примере показана последовательность проведения расчета, который не требует специальной подготовки персонала и достаточно просто может быть алгоритмизирован.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 56135 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.
2. ГОСТ Р 56136 – 2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.
3. ГОСТ Р 56112 – 2014. Интегрированная логистическая поддержка экспортируемой продукции военного назначения. Общие требования к комплексным программам обеспечения эксплуатационно-технических характеристик. – М.: Стандартинформ. – 24 с.

4. ГОСТ Р 55929 – 2013. Интегрированная логистическая поддержка и послепродажное обслуживание. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.
5. Волков Л.И. Управление эксплуатацией летательных комплексов: учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 400 с.
6. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
7. Вопросы математической теории надежности / Е.Ю. Барзилович, Ю.К. Беляев, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко, А.Д. Соловьев, И.А. Ушаков; под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
8. ГОСТ РВ 27.3.03 – 2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП. – М.: Стандартинформ, 2005. – 38 с.
9. Дьяков А.Н. Модель процесса поддержания готовности технологического оборудования с обслуживанием после отказа // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 651. – 272 с.
10. Бояришинов С.Н., Дьяков А.Н., Решетников Д.В. Моделирование системы поддержания работоспособного состояния сложных технических систем // Вооружение и экономика. – 2016. – № 3 (36). – С. 35-43.
11. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: ИПК издательство стандартов, 2016. – 15 с.
12. ГОСТ Р 55931–2013. Интегрированная логистическая поддержка экспортируемой продукции военного назначения. Стоимость жизненного цикла продукции военного назначения. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 9 с.
13. ГОСТ Р 27.202 – 2012. Надежность в технике. Управление надежностью. Стоимость жизненного цикла. – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.
14. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

С.В. Загорный;
А.Н. Миронов,
доктор техн. наук, профессор;
О.Л. Шестопалова,
кандидат техн. наук, доцент
СПИИРАН

ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА ДЛЯ КОМПЛЕКСОВ ЗАПРАВКИ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В публикации обосновывается необходимость совершенствования научно-методического обеспечения в области прогнозирования риска и обеспечения безопасности РКК. Предложены подходы к построению моделей прогнозирования риска при возникновении нештатных ситуаций на комплексах заправки ракет космического назначения в условиях полной и частичной структурной неопределенности.

Ключевые слова: безопасность эксплуатации, нештатная ситуация, оценивание риска, неопределенность, лингвистическая вероятность, моделирование риска.

Современные ракетно-космические комплексы (РКК) и входящее в их состав оборудование представляют собой сложные технические системы (СТС), обеспечивающие выполнение важных оборонных и народнохозяйственных задач по развертыванию, наращиванию и восполнению орбитальных группировок космических аппаратов различного назначения [1].

Особенности современной эксплуатации РКК состоят в следующем. Во-первых, эксплуатация РКК происходит в условиях старения и износа их составных частей, на фоне которой становится сложнее обеспечивать требования по надежности и безопасности. Во-вторых, эксплуатация РКК происходит в условиях недостаточной технической готовности средств обеспечения безопасности. И, в-третьих, снижается качество действий эксплуатирующего персонала как следствие увеличения функциональных возможностей и усложнения объектов эксплуатации. Названные факторы приводят к снижению надежности и безопасности эксплуатации РКК.

Обеспечение безопасности эксплуатации РКК представляет собой весьма сложную научную и техническую проблему, решение которой невозможно без совершенствования и углубления научно-методического обеспечения в области прогнозирования риска и обеспечения безопасности РКК. При этом научно-обоснованное обеспечение безопасности эксплуатации РКК должно базироваться на проработанной системе научных, организационных и технических мероприятий, позволяющих комплексно (с использованием всех видов исходных данных) оценить фактические значения показателей безопасности и обосновать необходимые мероприятия, позволяющие снизить уровни остаточного риска до допустимых пределов.

Достаточно подробно концептуальные и методологические основы обеспечения безопасности эксплуатации наземного технологического оборудования стартовых комплексов рассмотрены в монографии А.В. Фёдорова «Обеспечение безопасности процесса функционирования стартового комплекса при возникновении нештатных ситуаций» [2].

Однако в целом, до сих пор существуют факторы, сдерживающие широкое применение методов управления рисками эксплуатации РКК на практике. В первую очередь необходимо отметить недостаточную проработку научно-методических основ анализа безопасности эксплуатации на различных стадиях жизненного цикла изделий, касающуюся учета в математических моделях реальной степени неопределенности, присущей процессам анализа и обеспечения безопасности эксплуатации РКК.

В свою очередь, понятие «безопасность» не всегда трактуется однозначно, что приводит к применению различных методов и моделей, рекомендуемых для анализа безопасности. Поэтому в целях однозначности дальнейших рассуждений определим понятие «безопасности» и связанные с ним термины.

Под *безопасностью эксплуатации РКК* будем понимать свойство процесса эксплуатации не наносить ущерба жизни и здоровью населения прилегающих к объекту дислокации ракетно-космических комплексов районов, обслуживающего персонала РКК, самому РКК и окружающей среде (в том числе и сопрягаемым объектам) [3]. Здесь необходимо отметить различия между понятиями «безопасность эксплуатации РКК» и «безопасность РКК».

Под *безопасностью РКК* будем понимать состояние данного РКК, при котором отсутствует угроза нанесения ему ущерба [3].

Специалисты различных отраслей промышленности в своих сообщениях и докладах постоянно оперируют не только определением «безопасность», но и такими терминами, как «опасность» и «риск».

Под *опасностью* понимается присущее СТС свойство, заключающееся в наличии в системе объектов, явлений и процессов, способных в определенных условиях наносить ущерб здоровью человека, технике, окружающей природной среде и социально-экономической инфраструктуре, т. е. вызывать нежелательные последствия непосредственно или косвенно [3].

Понятие «риск» как сложнейшее многогранное социально-политическое явление носит конкретно-исторический характер и тесно связано с категорией «безопасность».

В настоящее время происходит активное формирование системы знаний о закономерностях в состояниях защищенности человека, населения и окружающей среды от опасностей, создание самостоятельной научной дисциплины – теории анализа и управления риском, обладающей специфическим, только ей присущим объектом исследования и соответствующей математически формализованной методологией изучения этого понятия.

Наиболее часто *риск* трактуют как вероятность возникновения несчастного случая, опасности, аварии или катастрофы при определенных условиях (состоянии) производства или окружающей человека среды, а также нанесенного при этом социального, экологического, экономического и других видов ущербов [4].

В составе РКК особую роль играют комплексы заправки (КЗ) ракет космического назначения (РКН) компонентами ракетных топлив (КРТ).

Под КЗ РКН будем понимать совокупность оборудования, систем и агрегатов, обеспечивающих транспортировку, хранение (длительное или кратковременное) КРТ, выполнение технологических операций по заправке баков РКН одним из видов КРТ, а также полный слив КРТ из баков РКН при несостоявшемся пуске [5].

КЗ РКН являются сложными организационно-техническими системами эксплуатации, включающими элементы с различной физической природой (вещественные, энергетические, информационные) и представляют собой уникальные объекты, которые изготавливают и эксплуатируют в статически неоднородных условиях [6].

Их особенности по сравнению с остальными системами и комплексами наземного технологического оборудования РКК проявляются в наличии интенсивного влияния взаимосвязанных факторов, сопровождающих и осложняющих организацию эксплуатационного процесса подготовки и пуска РКН.

К таким факторам относятся:

- энергетическая насыщенность КЗ РКН, характеризуемая высоким уровнем затрат энергии различных видов;
- взрывоопасность, пожароопасность, токсичность и коррозионная активность КРТ, наличие перепадов давлений и гидроударов в магистралях заправки;
- жесткие требования к поддержанию физико-химических параметров КРТ в соответствии с требованиями по кондиционности согласно ГОСТ и ТУ;

- эксплуатация криогенных веществ и КРТ, обуславливающая необходимость применения теплоизоляции различных типов;
- строгая регламентация времени заправки в ходе эксплуатационного процесса подготовки и пуска РКН;
- повышенный уровень психологической напряженности эксплуатирующего персонала, связанный с высокой интенсивностью динамических процессов, исключительной ответственностью в принятии персоналом решений на управление в различных условиях эксплуатации.

Отмеченные особенности КЗ РКН при возникновении *нештатных ситуаций* (отказы элементов комплекса, ошибки персонала, негативное воздействие факторов окружающей среды) могут приводить к весьма тяжелым последствиям, таким как:

- срыв выполнения целевой задачи;
- вывод из строя дорогостоящего технологического оборудования и объектов в целом, аварии и катастрофы;
- травмирование или гибель эксплуатирующего персонала;
- ухудшение экологической обстановки.

В нормативно-технических и руководящих документах сформулированы требования по обеспечению безопасности и надежности ракетно-космической техники [7, 8], прогнозированию и анализу отказов оборудования [9], локализации и ликвидации последствий опасных ситуаций [10]. Однако эти требования зачастую принципиально невыполнимы и не имеют типовых конструктивных решений для КЗ РКН ввиду их уникальности.

Значительная тяжесть последствий происшествий, к которым могут приводить штатные ситуации, обуславливает необходимость поиска методов предотвращения аварий при эксплуатации КЗ РКН, обоснования мер защиты эксплуатирующего персонала, окружающей природной среды и сопряженных объектов.

Для решения подобных задач необходимы методологические принципы и подходы, касающиеся обоснования решений, принимаемых на всех этапах жизненного цикла КЗ РКН и учитывающих влияние факторов, порождающих возникновение и развитие штатных ситуаций.

В наиболее общем виде изменение риска в процессе эксплуатации КЗ РКН может быть описано выражением

$$R_{\langle J \rangle}(t+1) = f(Y_{\langle I \rangle}, W_{\langle L \rangle}, S_t, t), \quad (1)$$

где $R_{\langle J \rangle}$ – вектор показателей риска, $R_{\langle J \rangle} = \langle r_1, r_2, \dots, r_J \rangle$;
 $Y_{\langle I \rangle}$ – вектор параметров технического состояния КЗ РКН, $Y_{\langle I \rangle} = \langle y_1, y_2, \dots, y_I \rangle$;
 $W_{\langle L \rangle}$ – вектор параметров среды, $W_{\langle L \rangle} = \langle w_1, w_2, \dots, w_L \rangle$;
 S_t – состояние КЗ РКН в момент времени t .

Вектор $R_{\langle J \rangle}$ характеризует величину возможного ущерба, дифференцированного по направленности и способу оценки. Состав вектора $R_{\langle J \rangle}$ уточняется при построении модели оценивания риска.

Вектор $Y_{\langle I \rangle}$ отражает техническое состояние КЗ РКН в целом и его элементов (агрегатов и систем).

Вектор $W_{\langle L \rangle}$ отражает состояние среды, в которой функционирует КЗ РКН и с которой он взаимодействует при формировании комплексного ущерба в системе «объект – среда».

Компоненты вектора $Y_{\langle I \rangle}$ и вектора $W_{\langle L \rangle}$ являются внутренними по отношению к компонентам вектора $R_{\langle J \rangle}$ (внешним).

Возможность построения моделей оценивания, прогнозирования и управления риском КЗ РКН напрямую связана с проблемой *структурируемости в условиях реальной неопределенности*. Структурируемость (структурная определенность) имеет место в тех случаях, когда

может быть построена формализованная модель системы (процесса, явления). В иных случаях говорят о неструктурируемости объектов исследования [11].

Реальным комплексам (системам), функционирующим в нестационарной среде, таким как КЗ РКН, присущи высокая степень неопределенности, касающаяся как сложности и неопределенности структурных связей, так и ограниченности информации о множестве элементов, на которых строится математическая модель. Применительно к (1) неопределенность может проявляться в ограниченности информации о составе вектора $Y_{<T>}$, о природе и механизме причинно-следственных связей между входными и выходными переменными x_i и y_j , о фактических значениях компонентов вектора $Y_{<T>}$, о динамике внутреннего состояния КЗ РКН, о механизмах взаимодействия в системе «объект – среда» при формировании ущерба и т. д.

В данных условиях существуют объективные ограничения на использование при моделировании риска КЗ РКН традиционных подходов, базирующихся на четких (детерминированных и стохастических) математических структурах. В этом случае представляется целесообразным использование смешанных нечетких вероятностных и нечетких статистических структур, которые строятся на основе задания вероятностных мер на нечетких множествах.

Порождающей структурой для построения *нечетких вероятностных структур* является нечеткое вероятностное пространство, определяемое как

$$(\Omega, F, \mu_A, P), \quad (2)$$

где Ω – пространство элементарных событий;
 F – σ -алгебра подмножества Ω ;
 μ_A – функция, определяющая для каждого $A \in F$ и $x \in \Omega$ степень принадлежности $\mu_A(x)$;
 P – вероятностная мера, заданная на F .

Множество $A\{x, \mu_A(x)\}$ называется нечетким событием, а величина $P(A) = \int \mu_A(x) dP$, представляющая собой интеграл Лебега и равная математическому ожиданию $M[\mu_A(x)]$, называется вероятностью нечеткого события [12].

Нечеткая статистическая структура имеет вид

$$(Y, F, \mu_A, P), \quad (3)$$

где Y – пространство выборок;
 F – σ -алгебра;
 μ_A – функция принадлежности, заданная на F ;
 P – семейство вероятностных мер.

В частности, нечеткая параметрическая статическая структура определяется следующим образом

$$(Y, F, \mu_A, \{P_\nu, \nu \in \theta\}), \quad (4)$$

где $\nu \in \theta$ – неизвестные параметры распределения P_ν .

На нечетких параметрических статистических структурах могут быть поставлены задачи оценки параметра ν на основании выборки $y \in Y$ при известной степени принадлежности $\mu_A(y)$, $A \in F$, а также задачи проверки гипотез.

В ряде случаев одни и те же реальные явления могут быть описаны как в терминах вероятностных структур, так и в терминах нечетких структур. Последнее достигается описанием вероятностной ситуации посредством лингвистической вероятностной структуры.

Лингвистическая вероятностная структура имеет вид [13]

$$(U, \Pi, T, V), \quad (5)$$

- где U – универсальное множество, на котором задается лингвистическая вероятностная структура;
 Π – наименование лингвистической вероятностной переменной;
 $T(\Pi)$ – терм-множество лингвистических вероятностей, каждая из которых соответствует определенному на U нечеткому множеству $\mu_A(u)$, $u \in V$, $T(\Pi) = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_3\}$;
 V – универсальное множество для лингвистических вероятностей, $V = [0, 1]$.

Рассмотрим две возможные постановки задачи моделирования риска при возникновении НшС на КЗ РКН в условиях реальной неопределенности.

1. Экспертное моделирование риска при возникновении НшС на КЗ РКН в условиях *полной структурной неопределенности*.

В качестве ограничений при моделировании предполагается отсутствие достаточной информации для раскрытия внутрисистемных межэлементных связей. При этом моделируемая система считается закрытой (не взаимодействует со средой или взаимодействует строго определенным образом). Как следствие предполагается, что система вообще не имеет входных полюсов, а число выходных сведено к минимуму (в пределе – к одному). Изменение состояния такой системы описывается выражением

$$R_{<J>}(t+1) = f(S_t, t). \quad (6)$$

Поведение системы (изменение ее выходных параметров) описывается нечетко в виде

$$\underset{\sim}{R}_j(t) = \{ \langle r_j, \mu(r_j, t) \rangle \}, r_j \in R_j, j = \overline{1, J}. \quad (7)$$

Сущность моделирования риска заключается в экспертном оценивании и последующей обработке функций $\mu(r_j, t)$, $j = \overline{1, J}$, $t \in [0, T]$.

Моделирование риска осуществляется на основе лингвистической вероятностной структуры. Модели, используемые при решении данной задачи, можно назвать моделями *прямого нечеткого оценивания риска*. Разновидности моделей связаны с различиями в алгоритмах получения и обработки исходных данных о $\mu(r_j, t)$.

2. Экспертно-аналитическое моделирование риска при возникновении НшС на КЗ РКН в условиях *частичной структурной неопределенности*.

Предполагается наличие некоторого объема информации для формализации структурных связей элементов системы «объект – среда», однако его недостаточно для полного и однозначного формирования вектора $Y_{<I'>}$. Моделируемая система считается открытой. Изменение состояния системы в общем случае описывается выражением

$$R_{<J>}(t) = f(Y_{<I'>}, W_{<L'>}, t), \quad (8)$$

где

$$R_{<J>}(t) = \langle \underset{\sim}{r}_1(t), \underset{\sim}{r}_2(t), \dots, \underset{\sim}{r}_j(t), \dots, \underset{\sim}{r}_J(t) \rangle;$$

$$\underset{\sim}{R}_j(t) = \{ \langle r_j, \mu(r_j, t) \rangle \}, r_j \in R_j, j = \overline{1, J};$$

$$Y_{<I'>}(t) = \langle \underset{\sim}{y}_1, \underset{\sim}{y}_2, \dots, \underset{\sim}{y}_i, \dots, \underset{\sim}{y}_{I'} \rangle, I' < I, \underset{\sim}{y}_i = \{ \langle y_i, \mu(y_i) \rangle \};$$

$$W_{<L'>} = \langle \underset{\sim}{w}_1, \underset{\sim}{w}_2, \dots, \underset{\sim}{w}_{L'} \rangle, L' < L, \underset{\sim}{w}_j = \{ \langle w_j, \mu(w_j) \rangle \}.$$

Моделирование риска осуществляется на основе элементов нечеткой статистической и лингвистической вероятностной структур.

Методы решения данной задачи базируются на моделях *нечеткого регрессионного анализа риска* [14]. Разновидности моделей обусловлены различиями в числе учитываемых независимых переменных, типах моделей нечеткого регрессионного анализа (формах представления входных и выходных переменных), типах используемых функций принадлежности в конкретных приложениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом установлено, что наиболее существенным свойством КЗ РКН является свойство опасности его эксплуатации, оцениваемое с помощью вектора параметров. Состав компонентов вектора определяется на этапе анализа взаимосвязей КЗ РКН и среды. Рассмотрены два возможных подхода к моделированию риска при возникновении НшС на КЗ РКН в условиях неопределенности: прямое нечеткое оценивание риска на основе лингвистической вероятностной структуры и нечеткое регрессионное оценивание риска. Первый подход целесообразно применять в условиях полной структурной неопределенности, второй – в условиях частичной структурной неопределенности.

Предлагаемый подход к построению моделей прогнозирования риска при возникновении НшС на КЗ РКН ориентирован на применение в системах автоматизированного проектирования, в создании систем поддержки принятия решений на управление КЗ РКН, а также учебно-тренировочных средств для подготовки эксплуатирующего персонала к действиям при возникновении нештатных ситуаций.

Список используемых источников

1. Анализ путей решения проблемы управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов / О.Л. Шестопалова, А.Н. Миронов, Е.В. Басотин, Р.Р. Казаков // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 6–2. – С. 282–287. – URL: <http://elibrary.ru/download/71789529.pdf> (дата обращения: 08.02.2018).
2. *Фёдоров А.В.* Обеспечение безопасности процесса функционирования стартового комплекса при возникновении нештатных ситуаций: монография. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. – 136 с.
3. *Краснов О.В.* Безопасность эксплуатации сложных технических систем: монография. – СПб.: ВКУ им. А.Ф. Можайского, 2002. – 230 с.
4. *Бондарь В.А., Попов Ю.П.* Риск, надежность и безопасность. Система понятий и обозначений. Безопасность труда в промышленности. – 1997. – № 10. – С. 39–42.
5. *Заправочное оборудование: учебник*. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – Ч. 1. Криогенное заправочное оборудование ракетно-космических комплексов / В.М. Мороз, И.В. Наумчик, А.П. Софьин, А.В. Полупан. – 387 с.
6. *Степанов М.И., Воробьев А.М., Гранкин Б.К.* Комплексы заправки ракет и космических аппаратов. – СПб.: Русло, 2002. – 463 с.
7. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 26 с.
8. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 12 с.
9. ГОСТ 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 26 с.
10. ГОСТ Р 54317-2011. Комплексы стартовые и технические ракетно-космических комплексов. Требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2011. – 28 с.

11. Определение оптимального варианта развития систем телекоммуникационного обеспечения эксплуатации и применения ракетно-космических комплексов в нечетко заданных условиях / В.Л. Витюк, Е.А. Миронов, О.Л. Шестопалова, Д.А. Севастьянов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: www.science-education.ru/121-18052 (дата обращения: 08.02.2018).
12. *Ивченко Б.П.* Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем. – СПб.: Лань, 1997. – 320 с.
13. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
14. *Сизяков Н.П., Шестопалова О.Л.* Прогнозирование соответствия характеристик космических средств предъявляемым требованиям на основе использования нечеткой регрессионной модели // Информация и космос. – 2010. – №1. – С. 133–135.

В.С. Ивановский,
доктор техн. наук, профессор;
Н.В. Кузнецова,
кандидат техн. наук;
Н.Н. Пенкина,
кандидат физико-математических наук;
М.А. Спиваков

МЕТОДИКА ГЕНЕРИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ РАСХОДОВ СТОЧНЫХ ВОД ОБЩЕСПЛАВНЫХ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Представлена методика генерирования случайных процессов изменения расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения со следующими отличительными признаками: принятие вероятностно-статистической модели изменения состояний системы; принятие в качестве характеристики нестационарного случайного процесса вероятности переходов из текущего состояния в последующее; определение на основании анализа статистической информации функциональной зависимости для плотности вероятности переходов $f(j)$ из текущего i -го состояния в последующее j -тое состояние и др. Результаты ее применения и степень сходимости с экспериментальными значениями проиллюстрированы на примере населенного пункта.

Ключевые слова: случайный процесс, канализационные насосные станции, общесплавные системы водоотведения, сточные воды, надежность, расходы сточных вод.

В соответствии с требованиями федерального закона № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» [1] одним из целевых показателей деятельности организаций, обеспечивающих водоотведение, является бесперебойность транспортировки стока за пределы населенных мест. Определяющую роль в этом играют транспортные сооружения систем водоотведения, к которым принято относить канализационные насосные станции (КНС) и сети [2–6]. Надежность их работы во многом определяется не только расходами отводимого стока, но и степенью их неравномерности. В первую очередь это относится к общесплавным системам водоотведения, транспортирующим смесь хозяйственно-бытовых и поверхностных стоков. Расходы последних носят случайный характер, вызванный случайным характером выпадения дождей и интенсивности таяния снега. Поэтому очень важно при обосновании инженерных мер, направленных на повышение надежности и экономической эффективности систем водоотведения, иметь возможность прогнозирования таких случайных расходов.

Фундаментальным исследованиям, позволившим разработать методы расчета и создать нормативную базу для оценки неравномерностей поступления сточных вод, посвящены работы Ф.В. Кармазинова, Ю.А. Ильина, В.С. Игнатчика, С.Ю. Игнатчик, А.П. Гринёва, Н.В. Кузнецовой [7 – 11] и др. В работах этих авторов нестационарный характер поступления стока оценивается коэффициентами неравномерностей и функциями плотности распределения притока сточных вод. Однако для оценки степени влияния надежности транспортных сооружений систем водоотведения на их экологическую безопасность (в том числе с применением вероятностно-статистических методов) важно наряду с известными показателями иметь возможность генерировать случайные процессы изменения расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения.

В настоящей публикации приведена методика генерирования случайных процессов изменения расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения, возможности которой проиллюстрированы на примере населенного пункта. Методика предусматривает выполнение семи этапов.

На первом этапе накапливается статистическая информация об изменении во времени расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения, и на основании ее определяются минимальное q_{\min} и максимальное q_{\max} значения расходов сточных вод. Например, $q_{\min} = 10$ тыс. м³/ч, $q_{\max} = 200$ тыс. м³/ч. На рис. 1 в графическом виде представлены результаты такого анализа.

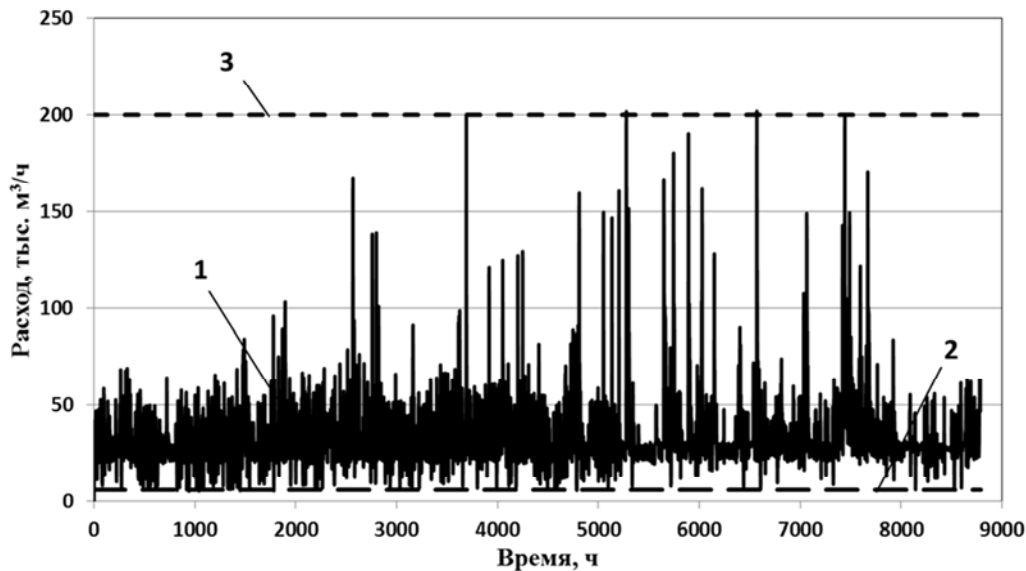


Рис. 1. Результаты обработки статистической информации об изменении в течение года расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения:

1 – изменение во времени расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения; 2 – минимальное значение q_{\min} расходов; 3 – максимальное значение q_{\max} расходов

На втором этапе интервал расходов $[q_{\min}, q_{\max}]$ разбивается на участки (полуинтервалы) с шагом Δq и формируется конечное множество значений возрастающих действительных чисел $R_1 = [q_1, \dots, q_{i-1}, q_i, q_{i+1}, \dots, q_{n1}]$, где $q_1 = q_{\min}$, $q_{n1} = q_{\max}$, $q_{i+1} - q_i = \Delta q$. Например, если $\Delta q = 2$ тыс. м³/ч, то $n_1 = 95$, а $R_1 = [10, \dots, 98, 100, 102, \dots, 200]$.

На третьем этапе формируется множество натуральных N_1 чисел состояний системы $N_1 = [1, 2, \dots, i-1, i, i+1, \dots, n1]$, элементами которых являются порядковые номера множества R_1 . Для полученного варианта R_1 множество $N_1 = [1, 2, \dots, 49, 50, 51, \dots, 95]$.

На четвертом этапе определяются частоты переходов $w_{i,j}$ (характеристика нестационарного случайного процесса) из текущего i -го состояния в последующее j -тое состояние в виде:

– матриц $W_1(t)$ частот переходов для случаев возрастания притока на предыдущем $(t-1)$ -м часе суток, $t = [1, 2, \dots, 24]$; $i = 1, 2, \dots, n_1$; $j = 1, 2, \dots, n_1$; $\sum_{t=1}^{24} W_{1,t} = 1$;

– матриц $W_2(t)$ частот переходов для случаев убывания притока на предыдущем $(t-1)$ -м часе суток, $t = [1, 2, \dots, 24]$; $i = 1, 2, \dots, n_1$; $j = 1, 2, \dots, n_1$; $\sum_{t=1}^{24} W_{2,t} = 1$.

В качестве иллюстрации на рис. 2 для рассматриваемого примера приведен вид матрицы $W_1(0)$. Из нее, например, следует, что $w_{19,1} = 0$, $w_{19,j} = 0,12, \dots, w_{19,95} = 0$ (рис. 2):

$$W_1(0) = \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,j} & \dots & w_{1,95} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,j} & \dots & w_{2,95} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{19,1} & w_{19,2} & \dots & w_{19,j} & \dots & w_{19,95} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{95,1} & w_{95,2} & \dots & w_{95,j} & \dots & w_{95,95} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0,010 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0,002 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0,12 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0,010 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Пример матрицы частот переходов $w(i,j)$ из текущего i -го состояния в последующее j -тое состояние

На пятом этапе проводится аппроксимационный анализ частот переходов $w_{i,j}$ и определяется функциональная зависимость для плотности вероятности переходов $f(j)$ из текущего i -го состояния в последующее j -тое состояние в виде:

– зависимости $f(j) = f_t^+(i, j)$ для случаев возрастания притока на предыдущем $(t-1)$ -м часе суток, $\sum_{j=1}^{n_1} f_t^+(i, j) = 1$;

– зависимости $f(j) = f_t^-(i, j)$ для случаев убывания притока на предыдущем $(t-1)$ -м часе суток, $\sum_{j=1}^{n_1} f_t^-(i, j) = 1$.

Например, для рассматриваемого примера при $t=0$ и тенденции возрастания зависимость $f(j) = f_{t=0}^+(19, j)$ в графическом виде показана на рис. 3.

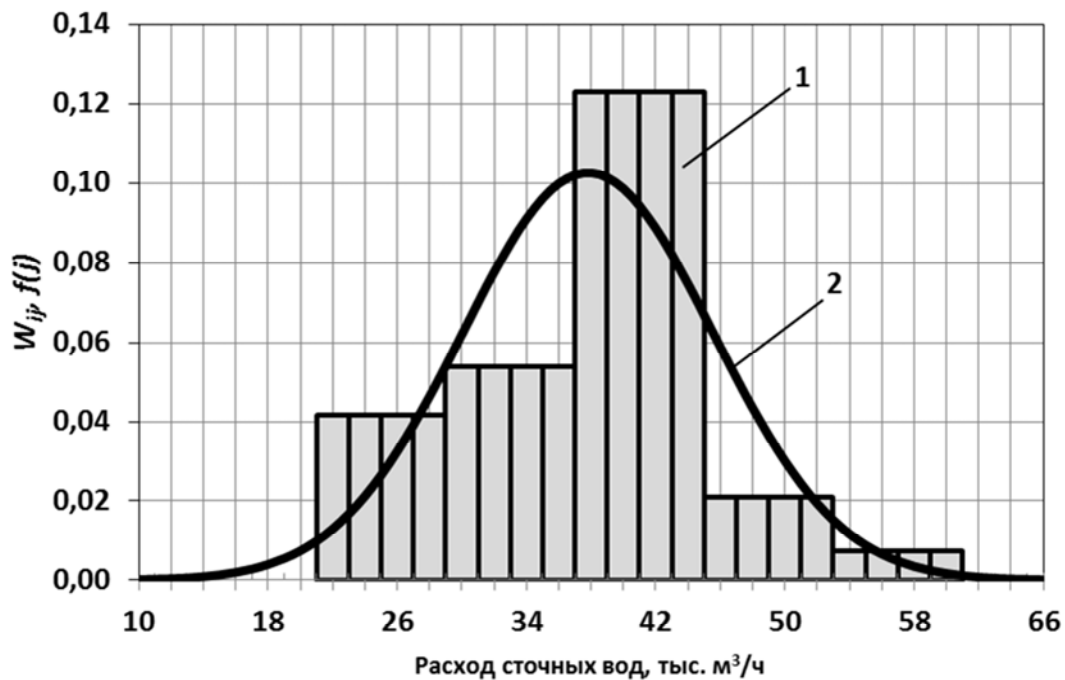


Рис. 3. Пример аппроксимационного анализа зависимости для плотности вероятности переходов из данного состояния в различные j -тые состояния:
1 – частоты переходов $w(i, j)$; 2 – плотность вероятности $f(j)$ переходов

На шестом этапе строится для исследуемого случайного процесса в соответствии с априорной информацией о нем вероятностно-статистическая модель, после чего загружается построенная математическая модель в память процессорного устройства.

На седьмом этапе с применением построенной вероятностно-статистической модели изменения состояний системы генерируется случайный процесс расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения. При этом на каждом шаге генерации фиксируется час t суток, направление изменения упомянутых расходов на предыдущем $(t-1)$ -м часе суток, и если зафиксировано возрастание притока, то вероятности переходов $P_{i,j}$ из текущего i -го состояния в последующее j -тое состояние определяются как $P_{i,j} = \int_{j-1}^j f_t^+(i, j)$, а если зафиксировано убывание упомянутых расходов на $(t-1)$ -м часе суток, то вероятности переходов $P_{i,j}$ определяются как $P_{i,j} = \int_{j-1}^j f_t^-(i, j)$, осуществляется переход в другие состояния в соответствии с выбранными вероятностями переходов $P_{i,j}$.

В результате получается сгенерированный случайный процесс расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения. В качестве иллюстрации на рис. 4 приведен первый пример результатов такой генерации. В дополнение к рис. 4 на рис. 5 приведено сравнение вероятностей поступления фактических и генерированных расходов.

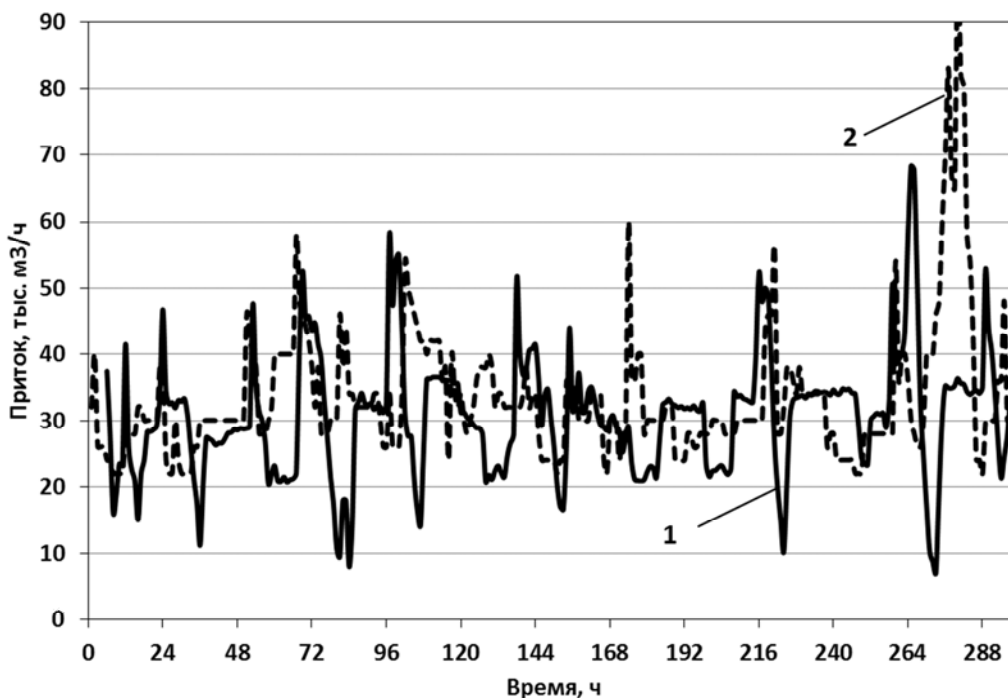


Рис. 4. Результаты первого примера генерации случайного процесса расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы:

1 – изменение во времени фактических расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения; 2 – то же, генерированных расходов

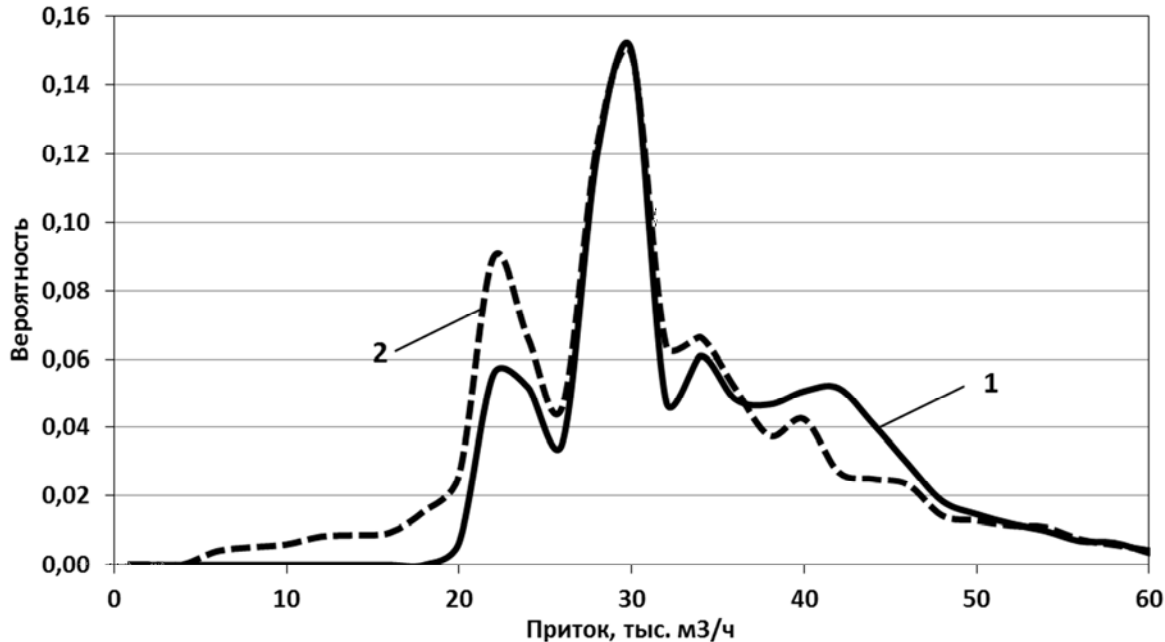


Рис. 5. Результаты первого примера сравнения вероятностей поступления фактических и генерированных расходов:

1 - вероятность поступления фактических расходов сточных вод;
2 – то же, генерированных расходов

На рис. 6 приведен второй пример результатов такой генерации. В дополнение к рис. 6 на рис. 7 показано сравнение вероятностей поступления фактических и генерированных расходов.

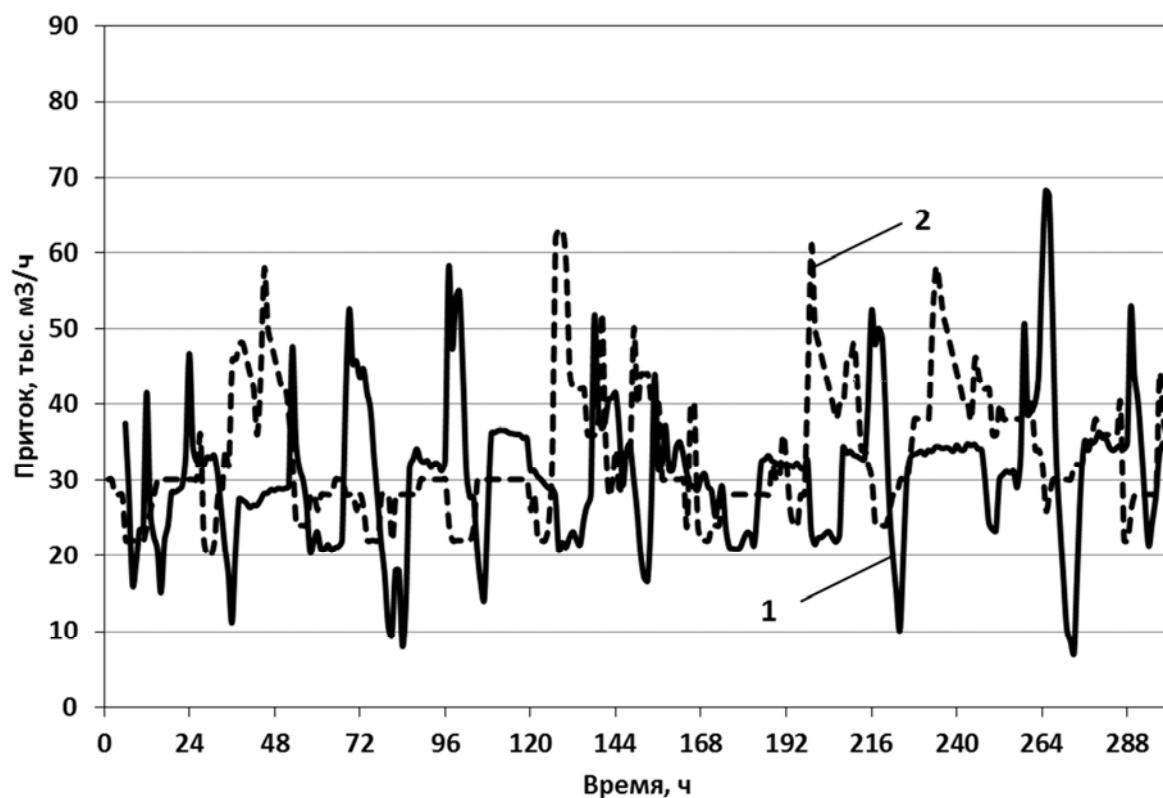


Рис. 6. Результаты второго примера генерации случайного процесса расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы:

1 – изменение во времени фактических расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения; 2 – то же, генерированных расходов

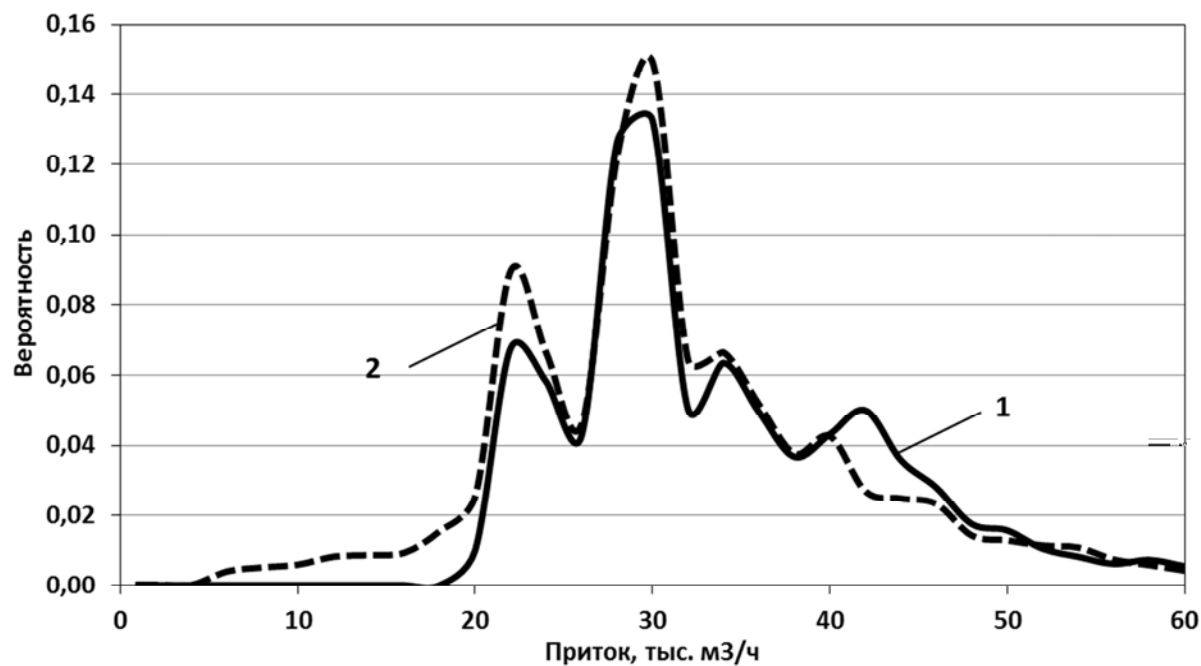


Рис. 7. Результаты второго примера сравнения вероятностей поступления фактических и генерированных расходов:

1 – вероятность поступления фактических расходов сточных вод; 2 – то же, генерированных расходов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Надежность работы транспортных систем водоотведения во многом определяется не только расходами отводимого стока, но и степенью их неравномерности. В первую очередь это относится к общесплавным системам водоотведения, транспортирующим хозяйственно-бытовые сточные воды и поверхностный сток, расходы которого носят случайный характер, вызванный случайным характером выпадения дождей и интенсивности таяния снега.

При обосновании инженерных мер, направленных на повышение надежности и экономической эффективности систем водоотведения со случайным характером изменения стока, эффективно применение вероятностно-статистических методов.

Разработана методика генерирования случайных процессов изменения расходов сточных вод общесплавных систем водоотведения, отличительными признаками которой являются: принятие вероятностно-статистической модели изменения состояний системы; принятие в качестве характеристики нестационарного случайного процесса вероятности переходов из текущего состояния в последующее; определение на основании анализа статистической информации функциональной зависимости для плотности вероятности переходов $f(j)$ из текущего i -го состояния в последующее j -тое состояние; генерирование с применением построенной вероятностно-статистической модели изменения состояний системы случайного процесса расходов сточных вод, поступающих из общесплавной системы водоотведения. Ее применение позволит обосновывать мероприятия, направленные на повышение надежности и экологической безопасности систем водоотведения.

Список используемых источников

1. О водоснабжении и водоотведении: федеральный закон от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ. – URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/ (дата обращения: 05.03.2018).
2. Влияние износа вертикальных насосов на надежность, безопасность и энергопотребление канализационных насосных станций / Ф.В. Кармазинов, Е.А. Мельник, Ю.А. Ильин, М.Д. Пробирский, В.С. Игнатчик, С.Ю. Игнатчик // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 4. – С. 10–18.
3. Ильин Ю.А., Игнатчик В.С., Игнатчик С.Ю. Определение показателей экологической безопасности канализационных очистных сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 3. – С. 11–18.
4. Методика оценки риска и объемов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду / В.С. Ивановский, В.С. Игнатчик, С.Ю. Игнатчик, Н.В. Кузнецова, А.П. Гринёв // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 649. – С. 167–174.
5. Техническое обследование насосных станций системы водоотведения Санкт-Петербурга / Ф.В. Кармазинов, Е.А. Мельник, М.Д. Пробирский и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 1. – С. 20–28.
6. Система водоотведения мегаполиса: патент на изобретение RUS 2438984 / Кармазинов Ф.В., Трухин Ю.А., Пробирский М.Д. и др. – опубл. 11.06.2010.
7. Игнатчик В.С., Седых Н.А., Гринёв А.П. Экспериментальное исследование неравномерности притока сточных вод // Военный инженер. – 2017. – № 4. – С. 22–28.
8. Результаты экспериментального исследования неравномерностей поступления сточных вод / А.П. Гринёв, В.С. Игнатчик, В.С. Ивановский, С.Ю. Игнатчик, Н.В. Кузнецова // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – № 649. – С. 153–158.
9. Игнатчик В.С., Саркисов С.В., Обвинцев В.А. Исследование коэффициентов часовой неравномерности водопотребления // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 2 (20). – С. 27–39.
10. Методика оценки объемов аварийных сбросов сточных вод в окружающую среду /

Ф.В. Кармазинов, Г.А. Панкова, Д.М. Михайлов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – № 6. – С. 49–54.

11. Кузнецов П.Н., Игнатчик В.С. Оптимизация систем водоснабжения и водоотведения // Вода и экология: проблемы и решения. – 2016. – № 4 (68). – С. 26–35.

С.Ю. Карасёв,
кандидат техн. наук;

Г.С. Ладышкин,
кандидат техн. наук;

Д.В. Сурин,
заслуженный деятель науки и техники,
академик академии военных наук, доктор техн. наук, профессор;

А.М. Шевчук,
кандидат техн. наук, доцент

СПОСОБ ОБОСНОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ СТЕПЕНЕЙ ЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА

Предложен новый способ определения степеней защиты специальных сооружений. Проанализированы классификационные признаки обычных средств поражения и предложена соответствующая классификация расчетных средств поражения, применяемых по специальным сооружениям. На основе рассмотренного в работе способа установлена количественная зависимость требуемой степени защиты сооружений от расчетного калибра применяемого средства поражения.

Ключевые слова: калибр, поражение, степень защиты.

При оценивании защищенности и живучести специальных сооружений в условиях ведения военных действий с потенциальным противником возникает необходимость в обосновании целераспределения средств поражения по объектам-целям, как ядерных, так и обычных.

Современные обычные средства поражения (ОСП) классифицируются по широкому спектру признаков (способу физического воздействия, мощности, точности, способу доставки к цели, месту базирования и т. д.), поэтому для определения степени защиты специальных сооружений необходимо иметь точное представление о том, воздействию каких средств поражения они будут подвергаться [6].

Физическое воздействие ОСП на специальные сооружения характеризуется общим и местным действием взрыва боеприпаса и его проникания в защитные конструкции объектов-целей. При этом доказано, что наибольшее поражение объектам-целям наносится при местном действии взрыва [2]. Исходя из этого обстоятельства, для объектов, имеющих специальную фортификационную защиту, принимается за расчетное физическое поражение местное действие удара и взрыва ОСП. Для объектов, не обладающих специальной фортификационной защитой, помимо местного действия также рассматривается общее действие взрыва ОСП.

Рассматривая классификацию ОСП по калибру [весу ОСП (P) и тротиловому эквиваленту взрывчатого вещества (q)] и способу физического поражения при местном действии взрыва и удара [5], все ОСП подразделяются на ОСП фугасного и проникающего действия, а также на пять классов по калибру:

- сверхкрупный калибр: $P=2,4$ тс, $q=1,2$ тс;
- крупный калибр: $P=1,6$ тс, $q=0,8$ тс;
- средний калибр: $P=0,5$ тс, $q=0,25$ тс;
- малый калибр: $P=0,05$ тс, $q=0,025$ тс;
- сверхмалый калибр: $P=0,001$ тс, $q=0,005$ тс.

подавляющее большинство зарядов взрывчатых веществ в боеприпасах ОСП рассматриваются как сосредоточенный заряд (соотношение длины к диаметру со значением менее 3,5 размеров) [1]. В этом случае энергия взрыва будет пропорциональна степени $1/3$ от тротило-

вого эквивалента взрыва. Радиус поражения при местном действии средства поражения определяется по формуле

$$r_{\text{МД}} = 10m_3 K_{\text{р(в)}} K_{\text{р(пр)}} q^{1/3}, \quad (1)$$

где m_3 – коэффициент повышения мощности взрыва при забивке заряда в толщу защитной конструкции
 $K_{\text{р(в)}}$ – коэффициент сопротивления разрушению взрывом материала защитной конструкции объекта-цели;
 $K_{\text{р(пр)}}$ – коэффициент усиления разрушения за счет проникновения.

Сущность забивки заряда, характеризуемая соответствующим коэффициентом m_3 , состоит в том, что все стороны заряда плотно прилегают к материалу защитной конструкции (ЗК). При этом происходит отражение энергии взрыва, что ведет к возникновению «сходящейся» волны, внутри которой давление возрастает в несколько раз по отношению к собственной волне взрыва взрывчатого вещества. Так как в большинстве случаев угол положения боеприпаса по отношению к нормали ЗК при взрыве соответствует $\beta_{\text{ОСП}} \approx 0 - 25^\circ$, а конструкции покрытия при этом имеют соизмеримо небольшую толщину по отношению к ширине (длине), то возникновение забивки ведет к увеличению воздействия взрыва в направлении наименьшей толщины материала. Значение коэффициента забивки определяется зависимостью

$$m_3 = 1,1 + 0,55 \left(1 - e^{-3,5 [h_{\text{пр(ЗК)}} / l_{\text{т(ОСП)}} \cos \beta_{\text{ОСП}}]^2} \right). \quad (2)$$

Коэффициент $K_{\text{р(ЗК)}}$ представляет собой ключевой параметр для расчета радиуса разрушения $r_{\text{р(ЗК)}}$, который ранее определялся только экспериментально в работах ряда ученых [4]. Основной предпосылкой для определения коэффициента $K_{\text{р(ЗК)}}$ служит гипотеза формирования податливости материала ЗК разрушению взрывом боеприпаса ОСП как следствие поглощения доли энергии взрыва потенциальной энергией силы сопротивления деформации материала разрушению (физическое выражение прочности материала) в предельной стадии деформации с учетом динамического упрочнения материала ЗК при взрывном процессе нагружения и динамичности такого нагружения [3] по формуле вида

$$K_{\text{р(ЗК)}} = 1 - \frac{A_{\text{м(деф)ЗК}}}{A_{\text{р(дин)ЗК}}}, \quad (3)$$

где $A_{\text{м(деф)ЗК}}$ – удельная работа сил деформации материала ЗК по сопротивлению разрушению динамическим нагружением, тс/м² ;
 $A_{\text{р(дин)ЗК}}$ – удельная сила динамического нагружения материала ЗК, тс/м².

Физический процесс разрушения материала конструкции при взрыве взрывчатого вещества (ВВ) боеприпаса представляет собой стадию детонации заряда ВВ в объеме материала ЗК, разлет продуктов и формирование зоны вытеснения материала ЗК, упруго-пластическое разрушение материала ЗК и упругое нагружение материала ЗК.

Из данных экспериментальных исследований [3] принимаются следующие значения коэффициентов m_3 и $K_{\text{р(пр)}}$ для основных типов ОСП:

- 1) $m_3 = 1,1$; $K_{\text{р(пр)}} = 1$ – для ОСП фугасного типа (ФТ);
- 2) $m_3 = 1,65$; $K_{\text{р(пр)}} = 1,85$ – для ОСП проникающего типа (ПТ).

Коэффициент сопротивления разрушению взрывом материала защитной конструкции принимается для железобетона и металла 0,120 и 0,010 соответственно.

Для объектов-целей с плоскими защитными конструкциями путем аппроксимации и осреднения результатов расчета защитных конструкций на воздействие воздушной ударной волны ядерного взрыва получена эмпирическая зависимость для определения требуемой толщины защитных конструкций сооружения в зависимости от требуемой степени защиты:

$$h_{\text{ЗК}} = 0,45\sqrt{\Delta p_{\text{сз(тр)}}}, \quad (4)$$

где $\Delta p_{\text{сз(тр)}}$ – требуемая степень защиты объекта-цели, кгс/см².

При обеспечении гарантированного физического поражения объекта-цели (значение закона поражения $G_n \Rightarrow 1$) условие защищенности объекта-цели принимает следующий вид:

$$h_{\text{ЗК}} > r_{\text{Мд}}. \quad (5)$$

Исходя из данного условия, при использовании формул (1) и (4) получим расчетную зависимость для определения требуемой степени защиты объектов-целей при применении ОСП определенного калибра:

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} = 4,94r_{\text{Мд}}. \quad (6)$$

На основании расчетов для железобетонных конструкций с использованием формул (1) и (6) для защиты специальных сооружений от соответствующего калибра ОСП получены следующие требования по степени защиты:

1) сверхкрупный калибр:

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 73,6 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ПТ};$$

2) крупный калибр:

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 63,3 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ПТ};$$

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 7,4 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ФТ};$$

3) средний калибр:

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 29,1 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ПТ};$$

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 3,4 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ФТ};$$

4) малый калибр:

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 10,0 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ПТ};$$

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 1,2 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ФТ};$$

5) сверхмалый калибр:

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 2,1 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ПТ};$$

$$\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 0,25 \text{ кгс/см}^2 \text{ для ФТ}.$$

Исходя из классификации сооружений по степеням защиты, незащищенные сооружения имеют степень защиты $\Delta p_{\text{сз(тр)}} \geq 0,25 \text{ кгс/см}^2$. Такую же степень защиты имеют образцы вооружения, военной и специальной техники вне укрытий. Объекты, на которых предусмотрена фортификационная защита и войсковые фортификационные сооружения имеют степени защиты от 0,5 до 100 кгс/см².

Решая обратную задачу с использованием приведенных выше зависимостей, представляется возможным определить расчетное ОСП сооружений с известной (проектной) степенью защиты. В зависимости от предназначения для объектов определены 5 классов по защищенности от воздействия ядерных средств поражения (ЯСП), однако не регламентирована защищенность от воздействия ОСП. При известных проектных данных, используемых объемно-конструктивными решениями сооружения, а также данных о глубине посадки сооружения в грунт и прочностных характеристиках конструкционных материалов, расчетное средство определяется из условия разрушения всех ЗК за счет суммарного местного действия проникания и взрыва.

При условии расчета ОСП на контактный взрыв (при встрече с твердой железобетонной преградой) значение толщины ЗК, гарантированно обеспечивающего защищенность специальных объектов при одном ударе, определяется зависимостью

$$h_{зк} \geq r_p + h_{отк}, \quad (7)$$

где $h_{отк}$ – глубина откола материала ЗК, м.

Учитывая, что при планировании наступательной операции противник будет стремиться достичь желаемого результата, расчетный наряд средств поражений составит значение больше 1. Данное обстоятельство также необходимо учитывать при оценке защищенности существующих и обосновании требуемого уровня защищенности проектируемых объектов [7].

Таким образом, в зависимости от фактической степени защиты объектов-целей в качестве расчетных калибров ОСП выбирается близкий по требуемой степени защиты калибр (табл. 1).

Таблица 1

Влияние степени защиты объектов на калибр ОСП фугасного и проникающего типа

| Калибр ОСП (тип) | Незащищенные сооружения, ВВТ вне укрытия | Объекты с фортификационной защитой и войсковые фортификационные сооружения | | | | Убежища для личного состава объектов гражданской обороны | | | | Сооружения командных пунктов и узлов связи войск | | | Сооружения шахтных пусковых установок | | | |
|--|--|--|---|---|----|--|---|---|----|--|----|----|---------------------------------------|-----|------|-----|
| | | 0,5 | 2 | 5 | 10 | 0,5 | 1 | 2 | 10 | 2 | 10 | 30 | 50 | 100 | РВСН | ПРО |
| | | | | | | | | | | | | | | | 70 | 2 |
| Степень защиты, кг/см ² | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Поражение соответствующим калибром ОСП | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Сверхкрупный (ПТ) | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | □ | ● | |
| Крупный (ПТ) | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | □ | □ | □ | | | ● | |
| Крупный (ФТ) | ● | ● | ● | ■ | ● | ● | ● | | ● | | | | | | ● | |
| Средний (ПТ) | ● | ● | ● | ● | □ | ● | ● | ● | □ | ● | □ | | | | ● | |
| Средний (ФТ) | ● | ● | ■ | | | ● | ● | ■ | | ■ | | | | | ■ | |
| Малый (ПТ) | ● | ● | ● | □ | | ● | ● | ● | | ● | | | | | ● | |
| Малый (ФТ) | ● | ■ | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| Сверхмалый (ПТ) | □ | □ | □ | | | □ | □ | □ | | □ | | | | | □ | |
| Сверхмалый (ФТ) | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |

● – поражение объекта-цели;

■ – поражение объекта-цели наименьшим калибром ОСП ФТ;

□ – поражение объекта-цели наименьшим калибром ОСП ПТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной публикации на основе предложенного способа в зависимости от классификации ОСП по расчетным калибрам (массе боеприпаса и мощности взрыва в тротиловом эквиваленте) определены требования к степени защиты специальных сооружений. Предложенный новый способ позволяет производить оперативные расчеты для анализа защищенности объ-

ектов при воздействии по ним ОСП противника определенного калибра. Результаты расчетов позволяют органам военного управления оперативно принимать решение по проведению мероприятий для повышения защищенности сооружений объектов.

Список используемых источников

1. *Борисов Е.Г., Евдокимов В.И.* Высокоточное оружие и борьба с ним: учебник. – СПб.: Лань, 2013. – 496 с.
2. *Аптуков В.Н., Мурзакаев Р.Т., Фонарёв А.В.* Прикладная теория проникания. – М.: Наука, 1992. – 105 с.
3. Исследования удара и проникания тел вращения в мягкий грунт / В.Г. Баженов, А.Н. Брагов, В.Л. Котов и др. // Прикладная математика и механика. – 2003. – Т. 67, №4. – С. 686–697.
4. *Хомич С.А.* Расчет ограждающих конструкций котлованных ФС на общее действие ОСП с учетом местных разрушений. – МО РФ, 1980. – 300 с.
5. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др. – М.: Наука. 1975. – 19 с.
6. Средства поражения и боеприпасы / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
7. *Сурин Д.В., Стахно Р.Е.* Оптимальное проектирование и оперативный расчет специальных фортификационных сооружений министерства обороны: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – 142 с.

В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор;
И.В. Свитнев,
кандидат военных наук, доцент;
Д.А. Соколов

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРОЗОЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ И ИХ УЧЕТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В УЧЕБНО-БОЕВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ

Войсковой и полигонный опыт показывает, что эффективность проведения мероприятий аэрозольной маскировки в основном определяется оптимальным сочетанием, с одной стороны, технологических возможностей и тактических схем боевого применения технических средств аэрозольного противодействия (ТСАЭП), а с другой – эксплуатационно-технических показателей и аэрозолеобразующей способности используемых аэрозолеобразующих составов (АОС). В этой связи они приобретают особую роль. Данная публикация посвящена изучению их маскирующих и физико-химических свойств.

Ключевые слова: аэрозолеобразующие составы, маскирующие способности, пиротехнический состав, самодымящие, хемоконденсационные аэрозоли, физико-химические показатели.

Различают следующие основные группы АОС:

- жидкие, полученные на основе нефтепродуктов, предназначенные для применения в ТСАЭП войск РХБ защиты – дымовых машинах и генераторах аэрозоля;
- хемоконденсационные составы, к числу которых относят многочисленные пиротехнические смеси, а также самодымящие АОС твердые (белый фосфор, входящий в состав авиационных бомб, артиллерийских мин и снарядов; красный фосфор – основной состав зажигательно-дымовых патронов) и жидкие – самодымящая смесь С-4 (в настоящее время не производят, однако ее запасы имеются на базах ВМФ), а также состав САС-1 на основе элементоорганических соединений (состоит на снабжении ВКС).

Помимо перечисленных ограниченное применение имеют инертные диспергируемые составы на основе металлов, графитов и волокнистых материалов. Указанные составы на снабжении войск РХБ защиты не состоят, однако их рассматривают в качестве перспективных АОС [1].

В табл. 1 и 2 приведены основные характеристики штатных АОС из нефтепродуктов.

Сравнительная характеристика фракционного состава различных нефтепродуктов показывает, что с точки зрения выполнения требований по температуре кипения высокими показателями характеризуется коксовый дистиллят из состава ДС № 1, средняя температура кипения которого более 360°C, а упругость пара при 20°C не более 0,03 мм рт. ст.

Вместе с тем у мазута указанные физико-химические показатели еще выше. Исходя из этого, получение устойчивых аэродисперсных систем из него могло бы оказаться наиболее эффективным. Однако самостоятельно коксовый дистиллят и топочный мазут для получения маскирующего аэрозоля не применяют, поскольку их эксплуатационные показатели не позволяют их прокачивать по жидкостным коммуникациям технического средства в необходимом температурном интервале боевого применения. Например, температура застывания мазута составляет 8...10°C, и только при 20...22°C обеспечивается прокачиваемость указанного нефтепродукта через фильтрующие элементы жидкостной системы.

Таким образом, чем выше маскирующие свойства нефтепродуктов, тем хуже, как правило, оказываются их эксплуатационные показатели, что, в свою очередь, приводит к необходимости

предварительного смешивания высококипящих нефтепродуктов с легкокипящими, выступающими в роли своего рода растворителей для первых.

Таблица 1

Компонентный состав АОС на основе нефтепродуктов

| Шифр состава | Содержание компонентов в составе, % | ТСАэП |
|--------------|--|---|
| ДС № 1 | Коксовый дистиллят – 70, соляровое масло – 30, присадка АзНИИ-ЦИАТИМ – 1 (сверх 100 %) | * ТДА-М, ТДА-2М, ТДА-2К, ТМС-65, УТМ, АГП, АГУ, комплект БАГ |
| ДС № 56 «Л» | Экстракт селективной очистки масел – 70, дизельное топливо зимнее – 30, присадка Аз НИИ-ЦИАТИМ – 0,5...1,0 (сверх 100 %) | |
| ДС № 56 «З» | Экстракт селективной очистки второй масляной фракции – 35, авиационный керосин ТС-1 – 50, дизельное топливо зимнее – 15, присадка АзНИИ-ЦИАТИМ – 0,5...1,0 (сверх 100 %) | |
| ДС-В | Авиационное масло МС-8 (или трансформаторное масло) – 70...80 %, дизельное топливо марки «З» (или арктическое) – 20...30 %, антиокислительная присадка Агидол – до 0,003 % | |

*ТДА – термическая дымовая аппаратура; ТМС – тепловая машина специальной обработки; УТМ – универсальная тепловая машина; АГП – аэрозольный генератор переносной; АГУ – аэрозольный генератор универсальный; БАГ – бортовой аэрозольный генератор.

Таблица 2

Основные физико-химические характеристики штатных АОС из нефтепродуктов

| Характеристики АОС | Аэрозолеобразующий состав | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|------------|------------|----------|
| | ДС №1 | ДС №56 «Л» | ДС №56 «З» | ДС-В |
| Плотность, г/см ³ | 0,94 | 0,92 | 0,85 | 0,84 |
| Средняя температура кипения, °С | 280 | 310 | 190 | 330 |
| Коксуемость, % масс | 1,2 | 0,15 | 0,06 | 0,15 |
| Температура застывания, °С | -42 | -42 | -60 | -50 |
| Температура вспышки, °С | 100 | 110 | 50 | 75 |
| Температура начала кристаллизации, °С | -8 | -10 | -25 | -35 |
| Вязкость, сСт | | | | |
| при 0 °С | 70 | 80 | 10 | не более |
| при -40 °С | 10000 | 10000 | 80 | 300 |
| Фракционный состав: | | | | |
| температура начала перегонки, °С; | 180 | 180 | 140 | 135 |
| выкипает до 350 °С, % об. | 66 | 50 | 80 | 55 |

Основное различие дымовых смесей проявляется в их эксплуатационных показателях (табл. 3). В общем случае к эксплуатационным свойствам АОС относят: температурные пределы жидкого состояния; вязкость в диапазоне рабочих температур; коррозионную активность; фильтруемость и прокачиваемость; пожаротехнические константы (температуру вспышки, температуру самовоспламенения, концентрационные и температурные пределы взрываемости);

токсические свойства; коксуемость; термическую стабильность и стабильность при хранении; содержание воды и механических примесей.

Таблица 3

Эксплуатационные показатели нефтепродуктов, используемых в качестве АОС

| Характеристики АОС | Аэрозолеобразующий состав | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------|------------|-----------|
| | ДС №1 | ДС №56 «Л» | ДС №56 «З» | ДС-В |
| Температурные границы применения АОС, °С | -5...+40 | -15...+40 | -40...+40 | -40...+40 |
| Коэффициент использования АОС при температуре 20 °С (для ТДА) | 0,75 | 0,7 | 0,51 | 0,7 |
| Коэффициент использования АОС при температуре 0 °С (для ТДА) | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,8 |
| Коэффициент использования АОС при температуре -20 °С (для ТДА) | 0,9 (до -5 ⁰ С) | 0,85 (до -5 ⁰ С) | 0,75 | 0,85 |

Дымовые смеси № 1 и № 56 «Л» не могут быть применены при температурах окружающего воздуха ниже -5°С и -15°С соответственно в связи с забивкой фильтров заправочных устройств машин типа ТДА, а также снижением производительности генераторов АГП и комплекта БАГ из-за высокой вязкости АОС при отрицательных температурах. Смесь № 56 зимней модификации (ДС № 56 «З») обеспечивает надежную работу машин при низких температурах, однако имеет низкий коэффициент аэрозолеобразования при положительных температурах окружающего воздуха.

Всесезонная смесь ДС-В по своим характеристикам близка смесям № 56 летней и зимней модификаций. Однако в отличие от них она пригодна к применению как в летних, так и в зимних условиях [2].

Дизельное топливо специальное, которое применяют в танковых войсках в качестве аэрозолеобразующего состава, аналогично по ряду показателей смеси № 56 «З», исключая низкотемпературные характеристики, которые уступают указанной дымовой смеси.

Решение проблемы всесезонного использования по назначению ТСАЭП тесно связано с эксплуатационными показателями АОС. Так, вязкость перекачиваемых жидкостей не должна превышать 300 сСт. Кроме того, в составе АОС должна отсутствовать вода. Указанным требованиям соответствует всесезонная смесь ДС-В. Смеси на основе нефтепродуктов в процессе хранения через 10...15 лет постепенно начинают подвергаться частичной полимеризации. Указанный процесс ускоряется, если в объем смеси попадает вода и кислород воздуха. Наличие в составе АОС стабилизирующих добавок (присадок) замедляет процесс старения смеси.

Хемоконденсационными называют аэрозоли, образованные в результате химического взаимодействия между испаренными компонентами двух или нескольких веществ либо в результате их взаимодействия с компонентами атмосферы – кислородом воздуха и парами воды. Классическими примерами таких аэрозолей являются аэрозоли, образованные из газообразных хлористого водорода и аммиака либо в результате взаимодействия паров серного ангидрида с атмосферной влагой. К хемоконденсационным АОС относят также и все пиротехнические рецептуры, входящие в состав значительного числа ТСАЭП.

Пиротехнические составы, входящие в состав дымовых гранат и шашек, создают аэрозоль за счет конденсации веществ, образованных в результате протекания экзотермических реакций между компонентами исходного состава.

Пиротехнические АОС прошли два периода их разработки – до 1960 и после 1975 года [6]. Основные тактико-технические характеристики аэрозольных средств на основе пиротехнических составов, применяемых в ВКС, приведены в табл. 4

Таблица 4

Тактико-технические характеристики аэрозольных средств на основе пиротехнических составов

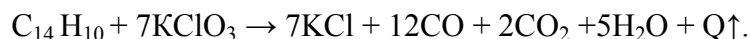
| Тип средства | Непросматриваемая длина АЗ, м | Продолжительность дымопуска | Время разгорания, с | Масса образца, кг | Диапазон маскирующего (помехового) действия, мкм |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|--|
| Ручные дымовые гранаты | | | | | |
| РДГ-2 | 20 – 25 | 1 – 1,5 | 5 – 10 | 0,5 | 0,4 – 0,75 |
| РДГ-2х | 25 – 30 | 1 – 1,5 | 5 | 0,6 | 0,4 – 1,5 |
| РДГ-2ч | 10 – 15 | 1 – 1,5 | 10 – 15 | 0,5 | 0,4 – 3 |
| Дымовые шашки | | | | | |
| ДМ-11 | 50 | 5 – 7 | 30 – 40 | 2,3 | 0,4 – 0,75 |
| УДШ | 100 – 150 | 8 – 10 | 10 | 13,5 | 0,4 – 1,5 |

К первому поколению относят хлоратно-нашатырно-антраценовые и металлохлоридные пиротехнические составы.

Хлоратно-нашатырно-антраценовые (ХНА) аэрозолеобразующие смеси до настоящего времени являются самыми массовыми пиротехническими составами, производство которых было начато в 40-е годы XX века. Эти составы относят к термовозгоночным АОС, поскольку аэрозолеобразователь непосредственно в готовом виде входит в состав смеси, а пересыщенный пар образуется в результате его возгонки от тепловой энергии протекающих экзотермических реакций. Аэрозолеобразующим веществом в этих составах выступает хлористый аммоний (нашатырь), в качестве горючего (восстановителя) – антрацен-сырец, а роль окислителя играет хлорат калия (больше известный под названием «бертолетова соль»).

В зависимости от скорости химических реакций ХНА-смеси подразделяют на основные (медленно горящие типа А-12) и переходные (быстрогорящие типа А-13), отличающиеся компонентным составом.

Реакция горения горючего (антрацен $C_{14}H_{10}$) и окислителя (хлорат калия $KClO_3$) может быть представлена в следующем виде:

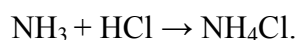


Развивающаяся при этой реакции температура (порядка 350–400°C) приводит к интенсивной возгонке аэрозолеобразователя – хлористого аммония.

Наряду с возгонкой частично протекают реакции диссоциации хлористого аммония по следующей схеме:



Однако при охлаждении в воздухе мгновенно происходит обратный процесс (конденсация):



Положительной особенностью ХНА-составов является то, что при относительной влажности воздуха, превышающей 80 %, образовавшиеся аэрозольные частицы хлористого аммония интенсивно начинают поглощать влагу из атмосферного воздуха с образованием жидких частиц $NH_4Cl \times nH_2O$. Это приводит к тому, что по мере дальнейшего увеличения относитель-

ной влажности до 95–98 % коэффициент аэрозолеобразования указанного АОС (выраженный в процентах к первоначальной массе) может достигнуть 250–350 % [4].

Следует отметить, что избыток антрацена в составах может приводить к его частичной возгонке, начинающейся уже при температуре 200°C. Этот избыток в ряде случаев приводит к нарушению процесса аэрозолеобразования и может приводить к воспламенению паров антрацена на выходе из технического средства (особенно это характерно для шашек ДМ-11).

В свою очередь, скорость процесса горения ХНА-составов существенно зависит от температуры окружающей среды и снижается на 30–40 % при температурах окружающего воздуха ниже -20°C.

Рецептуры ХНА-составов, используемых для снаряжения различных технических средств, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Рецептуры основных ХНА пиротехнических составов

| Компоненты состава | Содержание компонентов в ТСАЭП | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | РДГ-2б | ДМ-11 | БДШ-5 | БДШ-15 | МДШ | ДШ-100-2М |
| NH ₄ Cl | 43 ± 2 | 24 ± 3 | 36 ± 2 | 25 ± 2 | 22 ± 2 | 45 ± 3 |
| KClO ₃ | 45 ± 2 | 32 ± 3 | 39 ± 2 | 34 ± 2 | 39 ± 2 | 40 ± 3 |
| C ₁₄ H ₁₀ | 12 ± 2 | 44 ± 4 | 25 ± 2 | 41 ± 2 | 39 ± 2 | 15 ± 2 |

Переходные ХНА-составы содержат 45 ± 2 % хлористого аммония, 20 ± 2 % хлората калия и 15 ± 2 % антрацена-сырца.

Образование аэрозоля из хлоратно-антраценового (ХА) аэрозолеобразующего состава происходит в результате термического разложения углеводородных соединений, в качестве которых используют технический антрацен, содержащий в виде примесей фенантрен, нафталин и другие углеводороды. В качестве окислителя в этих составах используют хлорат калия, обеспечивающий достаточно высокую температуру, а в ряде случаев и появление интенсивного пламени.

Рецептуры ХА-смесей приведены в табл. 6.

Таблица 6

Рецептуры хлоратно-антраценовых составов

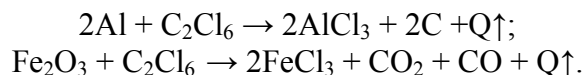
| Компоненты состава | Содержание компонентов в составе, % | | |
|----------------------|-------------------------------------|---------|---------|
| | Марка ЧД | № 50-02 | № 51-26 |
| Антрацен технический | 50 | 53 | 40 |
| Хлорат калия | 50 | 52 | 55 |
| Тиомочевина | – | 10 | – |
| Хлорпарафин ХП-470 | – | – | 4 |
| Графит П | – | – | 1 |

Цвет аэрозоля, образующегося из ХА-состава, черный, что обусловлено значительным содержанием в нем высокодисперсных частиц сажи. До недавнего времени этот пиротехнический состав использовали только в ручных дымовых гранатах РДГ-2Ч. В перспективе эти составы могут найти широкое применение в технических средствах, предназначенных для противодействия тепловизионным средствам, а также для создания телевизионно-лазерных помех.

Металлохлоридные пиротехнические составы, разработанные до 1960 года, в качестве горючих элементов (восстановителей) содержат металлы (алюминий, магний и их сплавы), а в качестве окислителей – хлорорганические вещества (гексахлорэтан, гексахлорбензол и ряд

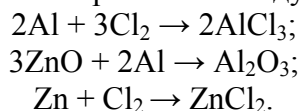
других хлорпарафинов). Для обеспечения требуемых скоростей горения в эти смеси введены оксиды железа и ряд добавок технологического порядка, а также флегматизаторы и катализаторы [3]. Процессы горения этих составов можно условно разделить на несколько стадий. На первой – происходит процесс взаимодействия горючих металлов с продуктами термического разложения хлорсодержащего органического окислителя при температуре до 1000°С. На второй – протекают процессы взаимодействия первичных продуктов горения и некоторой части исходных компонентов состава с кислородом воздуха. На этой же стадии протекают процессы дожигания горючих компонентов с образованием оксидов.

В общем виде химические реакции, протекающие в металлохлоридных смесях, можно представить в следующем виде:

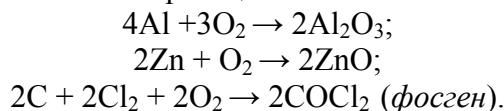


Охлаждаясь в воздухе, пары хлоридов металлов конденсируются в твердые аэрозольные частицы, которые в дальнейшем поглощают влагу воздуха и переходят в жидкое состояние.

В металлохлоридных составах второго поколения вместо окиси-закиси железа введен оксид цинка. С целью снижения чувствительности и уменьшения пыления составов при их переработке и достижения необходимой прочности прессования, а также улучшения процессов горения в них введены различные синтетические смолы. Для уменьшения возможной пламенности в один из металлохлоридных составов (литьевой) введен карбамид. Наряду с указанными выше реакциями в этих составах протекают следующие реакции:



На стадии догорания возможны также реакции:



В дисперсной фазе аэрозоля содержатся хлориды металлов, небольшое количество их оксидов и частицы неокислившегося углерода.

Наличие в аэрозольном облаке частиц сажи (углерода) придает ему цвет от светло- до темно-серого.

При попадании влаги в металлохлоридную смесь они способны к самовозгоранию, что повышает требования к герметичности изделий, снаряженных названными АОС.

Особо следует указать на то, что наличие в аэрозольном облаке незначительного количества удушающего газа фосгена исключает возможность применения этих средств в помещениях, а также обуславливает необходимость обязательной защиты органов дыхания личного состава [3].

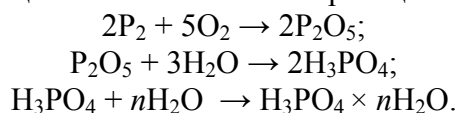
Основными компонентами, обеспечивающими образование аэрозоля из металлонитратных смесей, являются металлическое горючее (магний, порошок алюминиево-магниевого сплава) и кислородсодержащие окислители (нитраты натрия или калия). Образующиеся в ходе химических реакций пары оксидов металлов пересыщают воздушное пространство и конденсируются в высокодисперсный аэрозоль белого дыма. Основным представителем этого класса пиротехнических АОС является смесь № 50-07, в состав которой входят: порошок алюминиево-магниевого сплава ПАМ-4 – 60 %, нитрат натрия – 35 % и синтетическая смола – 5 %.

Применение в пиротехнических составах красного фосфора существенно расширило их возможности по созданию аэродисперсных систем, эффективно ослабляющих электромагнитное излучение. Основными компонентами этих смесей является либо собственно красный фосфор, либо фосфор, нанесенный на тканевую основу, либо различные фосфорные соединения (сульфиды, фосфиды, полифосфиды). Для создания необходимых температурных

условий перевода фосфора в газообразное состояние эти пиротехнические составы дополнительно содержат термические смеси на основе металлического горючего (порошки алюминия, магния или алюминиево-магниевый сплав) и кислородсодержащие окислители (нитраты калия или натрия).

Красный фосфор представляет собой рыхлый порошок, имеющий температуру плавления 580°C. Он безопасен в обращении [5].

В зависимости от предназначения фосфорсодержащие составы могут быть изготовлены вязкими или твердыми. Их консистенцию определяют вводимые в них компоненты. Основным аэрозолеобразователем в этих смесях является фосфор, активно взаимодействующий с кислородом и влагой воздуха с образованием различных фосфорных кислот (орто-, пара- и метафосфорные кислоты) по общей схеме химических реакций:



Образующийся аэрозоль имеет ярко-белый цвет.

С увеличением относительной влажности атмосферного воздуха коэффициент аэрозолеобразования и маскирующая способность аэрозоля, образующегося из красного фосфора, существенно возрастают.

Хемоконденсационные АОС, генерирующие аэрозольные частицы в результате реакций между компонентами состава и кислородом или влагой воздуха, получили название самодымящих.

По своему агрегатному состоянию они могут быть либо твердыми (в этом случае для получения развитой поверхности их дробят взрывом разрывного заряда), либо жидкими (для перевода в аэрозольное состояние их предварительно распыляют соответствующими распыляющими устройствами).

Впервые белый фосфор как аэрозолеобразующее вещество был применен англичанами в 1915 году [5].

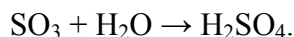
Белый фосфор представляет собой прозрачную или с желтоватым оттенком массу кристаллического строения с температурой плавления 44,3°C. При температуре 50°C он способен к самовоспламенению. На этой способности основано его применение в дымовых боеприпасах взрывного действия (снарядах, минах и авиабомбах). Белый фосфор горит ярким желтым пламенем, развивая температуру до 900°C, интенсивно образуя при взаимодействии с кислородом и влагой воздуха аэрозоль белого цвета.

Маскирующие и аэрозолеобразующие способности такого аэрозольного облака существенно возрастают с увеличением относительной влажности воздуха.

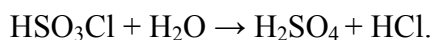
Белый фосфор крайне ядовит, все операции с ним проводят только под водой. В силу того, что часть фосфора при взрыве боеприпаса остается в грунте, аэрозолеобразующая способность его несколько меньше предполагаемой [6].

Подводя итог рассмотрению основных пиротехнических АОС, укажем, что все они в той или иной степени входят в состав различных аэрозольных средств.

Газообразный серный ангидрид при 45°C сжижается в бесцветную жидкость. Пары серного ангидрида бурно реагируют с парами воды, образуя аэрозоль, состоящий из частичек раствора серной кислоты:



Из-за высокой температуры замерзания (25°C) серный ангидрид не применяют в чистом виде для получения аэрозоля. Практически его используют в виде раствора в хлорсульфоновой кислоте HSO_3Cl , которая является бесцветной подвижной жидкостью с температурой кипения 153°C. При взаимодействии с парами воды воздуха образует серную и соляную кислоты:



Самодымящая дымовая смесь С-4 представляет собой 40 ± 3 %-ный раствор серного ангидрида в хлорсульфоновой кислоте. Температура замерзания этой смеси -40°C . Аэрозоль из смеси С-4 образуется при ее распылении в воздухе из стационарных дымовых приборов, помещенных в грунт, станций типа АРС путем ее механического распыливания через специальные насадки, а также на кораблях ВМФ.

Помимо самодымящих смесей на основе серного ангидрида известен достаточно широкий круг химических веществ, относящихся к указанному классу АОС. В этот перечень входят: фторсульфоновая кислота; хлористый тионил; однохлористая сера и другие галогениды серы; галогениды и оксигалогениды фосфора; галогениды сурьмы, мышьяка, кремния, олова, титана, бора и комбинации галогенидов с аммиаком.

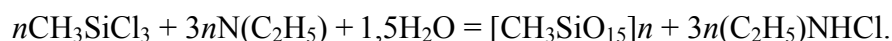
Кроме того, известны составы из четыреххлористого кремния и треххлористого фосфора в сочетании с водными растворами аммиака, а также АОС на основе кремнийорганических галогенидов с общей формулой $R_n\text{SiG}_{4-n}$, где R – органический радикал; G – галоген, $n = 1 \dots 3$, с аммиаком или без него и гидридов кремния.

Спектральный диапазон маскирующего действия самодымящих составов при относительной влажности более 80 % расширяется до среднего ИК-диапазона (3–5 мкм).

К началу 1980-х годов предприятиями промышленности был разработан ряд АОС на основе кремнийорганических соединений, предназначенных взамен самодымящей смеси С-4. В их числе унитарный состав АКО-3 и бинарный состав отдельного снаряжения ХКБ-6 [3].

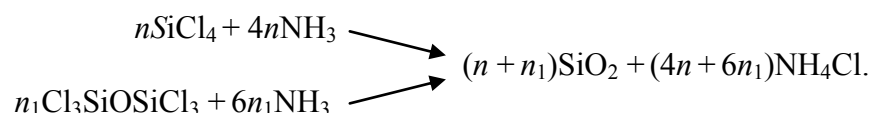
Разработчики в своих составах предполагали устранить эксплуатационные недостатки, присущие смеси С-4, одновременно сохранив ее высокие маскирующие характеристики в видимой и ИК-областях спектра электромагнитного излучения (ЭМИ). Их перевод в аэрозоль осуществлялся путем механического (холодного) распыливания с помощью установок типа ДА-9.

Унитарный состав АКО-3 представляет собой гомогенную смесь метилтрихлорсилана CH_3SiCl_3 (МТХС) и триэтиламина $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$ (ТЭА) с мольным соотношением 1:3 (33 % МТХС + 67 % ТЭА). При выбросе АКО-3 в атмосферу в результате взаимодействия с парами воды мгновенно образуется аэрозоль, состоящий из смеси кремнийорганического полимера и соляно-кислого триэтиламина:



Бинарный хемоконденсационный состав ХКБ-6 отдельного снаряжения, компонентами которого являются кубовые остатки производства четыреххлористого кремния и водный 25 %-ный раствор аммиака. Кубовые остатки, в свою очередь, состоят из четыреххлористого кремния SiCl_4 (35 %) и гексахлордисулфидоксана $\text{Cl}_3\text{SiOSiCl}_3$ (65 %). В качестве примесей кубовые остатки содержат TiCl_4 и высшие хлорсилоксаны.

Процесс аэрозолеобразования из состава ХКБ-6 заключается в одновременном диспергировании из различных емкостей кубового остатка и аммиачной воды и их смешивании. При этом под влиянием влаги происходит гидролиз четыреххлористого кремния и гексахлордисулфидоксана с образованием двуоксида кремния и хлористого водорода, который затем связывается с аммиаком в хлористый аммоний:



Таким образом, аэрозоль из состава ХКБ-6 состоит из двуоксида кремния и хлористого аммония, соотношение между которыми 1:5,8 (по весу).

Маскирующая способность составов на основе кремний-органических соединений практически мало отличается от аналогичного показателя смеси С-4.

Диметилдихлорсилан – основной компонент кубовых остатков, входящих в состав ХКБ-6, в процессе перевода в аэрозольное состояние забивает выходные отверстия распыли-

вающих устройств продуктами гидролиза, что требует их постоянного продувания сжатым воздухом или азотом с последующим проведением механической чистки.

В итоге перечисленные выше недостатки кремнийорганических соединений оказались непреодолимым препятствием к тому, чтобы использовать их в качестве аэрозолеобразующих составов в дымовых машинах и генераторах.

Сегодня основное предназначение самодымящих АОС на основе кремнийорганических соединений – применение в выливных авиационных приборах в унитарном снаряжении под условным наименованием «Состав САС-1».

Инертные диспергируемые составы на основе коллоидного или модифицированного графита и углеродно-волоконистых материалов рассматривают в качестве перспективных АОС, обеспечивающих противодействие ИК-прибором разведки и наведения оружия. Аэрозоли на основе графита, сажи или волоконистых материалов обеспечивают эффективную маскировку в среднем, дальнем (до 14 мкм) ИК- и СВЧ-диапазонах длин волн ЭМИ. Однако их широкому применению в генераторах и боеприпасах препятствуют низкие эксплуатационные показатели, что определяет необходимость проведения дальнейших исследований в этой области.

Вместе с тем американские разработчики дымовых генераторов *M1059*, *M1037*, *M56*, *M58*, *LVOSS (Army Smoke Equipment)* смогли найти техническое решение, позволяющее эффективно распылять порошковые АОС. Это, в свою очередь, позволило расширить спектральный диапазон маскирующего действия указанных дымовых генераторов от видимого до дальнего инфракрасного (0,4–14 мкм) [5].

Свойства некоторых АОС оказывают негативное воздействие на личный состав. Применяемые для маскировки войск (сил) и объектов аэрозольные образования на основе металлохлоридного состава, антраценовой дымовой смеси, белого фосфора и нефтепродуктов обладают слабым раздражающим действием, выраженность которого зависит от длительности нахождения личного состава в зоне маскировки. У лиц с чувствительной кожей возможно образование экзем. При нахождении в аэрозольном облаке металлохлоридного состава более 30 мин без противогазов у военнослужащих могут появиться неприятные ощущения в носоглотке и за грудиной, кашель и слюнотечение. Если при этом будет надет противогаз, указанные симптомы постепенно проходят.

Кроме того, отдельные составы характеризуются повышенной пожароопасностью и химической активностью. Так, белый фосфор на воздухе может самовоспламениться; смесь С-4 разрушает органические материалы, что требует соблюдения исключительно повышенных мер безопасности при работе с указанными АОС.

В целях безопасности личного состава запрещается: привлечение неподготовленных лиц к работе с техническими средствами аэрозольного противодействия; пребывание в зоне маскировки без средств защиты; доступ без надетого противогаза к рубежу дымопуска с подветренной стороны ближе 10 м; применение дымовых средств внутри закрытых помещений, укрытий и в герметизированных отсеках. Авторы предлагают для изучения воздействия на человека этих неблагоприятных факторов использовать параметрический закон поражения. По своей математической сути он представляет собой интегральную функцию распределения случайной величины X , в роли которой выступает параметр поражающего фактора, и характеризует вероятность того, что она примет значение, не менее заданного x , т.е.

$$\text{Вероятность \{поражения\}} = F(x) = P(X < x),$$

где P – вероятность события негативного воздействия.

Параметрические законы поражения личного состава включают:

1. Параметрический закон потенциального поражения, развивающегося во времени после начала воздействия фактора, который можно представить в виде выражения

$$F_{n,n}(x) = P(X < x).$$

2. Параметрический закон мгновенного поражения, развивающегося фактически сразу от начала воздействия фактора, который имеет вид

$$F_{m.n}(x) = P(X < x).$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, подводя итог вышеизложенному, отметим, что в общем случае к АОС предъявляются ряд требований:

1. Составы должны обеспечивать образование аэрозоля с необходимыми маскирующими (защитными) свойствами.

Штатные АОС на основе нефтепродуктов, а также пиротехнические составы образуют аэрозоль, маскирующие свойства которого ограничиваются видимым и ближним ИК-диапазонами длин волн ЭМИ.

2. Составы должны обеспечивать простоту организации процесса аэрозолеобразования.

В технических средствах аэрозольного противодействия приоритетное развитие получили жидкие АОС, поскольку их транспортирование по коммуникациям специального оборудования легко осуществляется насосной аппаратурой. В то же время широкому использованию сыпучих материалов (графитов, волокнистых материалов) в генераторах аэрозоля препятствуют технические трудности в организации процесса транспортирования и распыливания указанных АОС в газовом потоке.

3. Физико-химические свойства АОС должны соответствовать средствам и условиям применения, быть физически, химически и термически стабильными в условиях эксплуатации и хранения, в них должны отсутствовать токсичность, коррозионная активность, и они должны быть безопасными при эксплуатации в войсковых условиях.

4. Сырье, из которого изготавливают составы, должно быть недорогим, иметь крупнотоннажное производство.

Ограниченные объемы производства, несовершенство технологии аэрозолеобразования сдерживают массовое применения модифицированного графита, углеродноволокнистых материалов, эффективных в ИК и СВЧ-диапазона длин волн.

Список используемых источников

1. Капустин И.В., Карташов Е.Д., Сорокин А.В. Основы аэрозольного противодействия. – Кострома: ВА РХБЗ им. С.К. Тимошенко, 2010. – 91 с.

2. Технические средства аэрозольного противодействия: учебник / И.В. Капустин, Е.Д. Карташов, А.В. Сорокин и др. – Кострома: ВА РХБЗ им. С.К. Тимошенко, 2010. – 218 с.

3. Кулганов В.А., Свитнев И.В., Соколов Д.А. Экологические аспекты маскировки аэрозолями // Тенденции развития современного естествознания и технических наук: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции, 30 октября 2017 г.: в 2 ч. – Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2017. – Ч. II. – С. 6–11.

4. Суворов С.В., Капустин И.В. Справочник по расчетам постановки аэрозольных завес. – Кострома: ВА РХБЗ им. С.К. Тимошенко, 2017. – 80 с.

5. Радиационная, химическая и биологическая защита: учебник / под ред. С.Б. Варющенко, С.В. Косырева. – 2-е изд., перераб., и доп. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 454 с.

6. Петрянов-Соколов И.С., Сутугин А.Г. Аэрозоли. – М.: Наука, 1989. – 143 с.

Д.В. Маркин

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Представлены результаты моделирования процесса определения комплексной значимости телеметрируемых параметров ракет-носителей для выбора оптимального способа их защиты. На основании полученных результатов возможно определить направления поиска алгоритмов и методик для определения параметров, которые необходимо защищать от утечки, и параметров, которые возможно передавать без применения средств защиты.

Ключевые слова: комплексная значимость, ракета-носитель, телеметрируемые параметры.

В настоящее время в связи с регулярной модернизацией существующих и созданием новых ракет-носителей (РН) результаты телеметрических измерений, циркулирующие в системе информационно-телеметрического обеспечения пусков РН, раскрывающие тактико-технические характеристики (ТТХ) РН, являются одной из основных целей для иностранных конкурентов. Для решения задачи по предотвращению утечки ТТХ РН необходимо определить комплексную значимость телеметрируемых параметров (ТМП), которая позволит выделить из них наиболее ценные и обеспечить им повышенные меры защиты.

Для решения сформулированной выше задачи разработана модель процесса определения комплексной значимости ТМП РН (рис. 1). Модель состоит из нескольких операторов.

1. Оператор A_x отражает процесс формирования множества ТМП (программы телеизмерений) $X_{<n>} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ конкретной РН с учетом имеющихся исходных данных I_x о количестве датчиков для выполнения задач телеизмерений.

2. Оператор $A_{\text{ТТХ}}$ отражает процесс формирования множества (перечня) ТТХ $Z_{<m>} = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ конкретной РН с учетом имеющихся исходных данных I_z о ТТХ и иной информации, подлежащей защите.

3. Оператор $A_{\text{озттх}}$ отражает процесс определения коэффициентов значимости множества ТТХ РН $K_{\text{ТТХ}}(Z_{<m>})$ на основе метода анализа иерархий Томаса Саати [1] с учетом исходных данных $I_{\text{озттх}}$ о значимости ТТХ.

Для расчетов необходимо построить матрицу A количественных суждений экспертов об отношении значимости одних ТТХ относительно других размера $m \times m$ по критериям R и P :

$$A = \|a_{ij}^Z\|_{m \times m}, \quad (1)$$

где a_{ij}^Z – количественные суждения экспертов.

Элементы a_{ij}^Z определяются по следующим правилам.

Правило 1. Если $a_{ij}^Z = a^Z$, причем $a^Z \neq 0$, то $a_{ij}^Z = 1/a$.

Правило 2. Если суждения таковы, что z_i имеет одинаковую с z_j относительную важность, то $a_{ij}^Z = a_{ji}^Z = 1$; в частности, $a_{ii}^Z = 1$ для всех $i = \overline{1, m}$.

Матрица A будет иметь вид

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a_{12}^Z & \dots & a_{1m}^Z \\ 1/a_{12}^Z & 1 & \dots & a_{2m}^Z \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1m}^Z & 1/a_{2m}^Z & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (2)$$

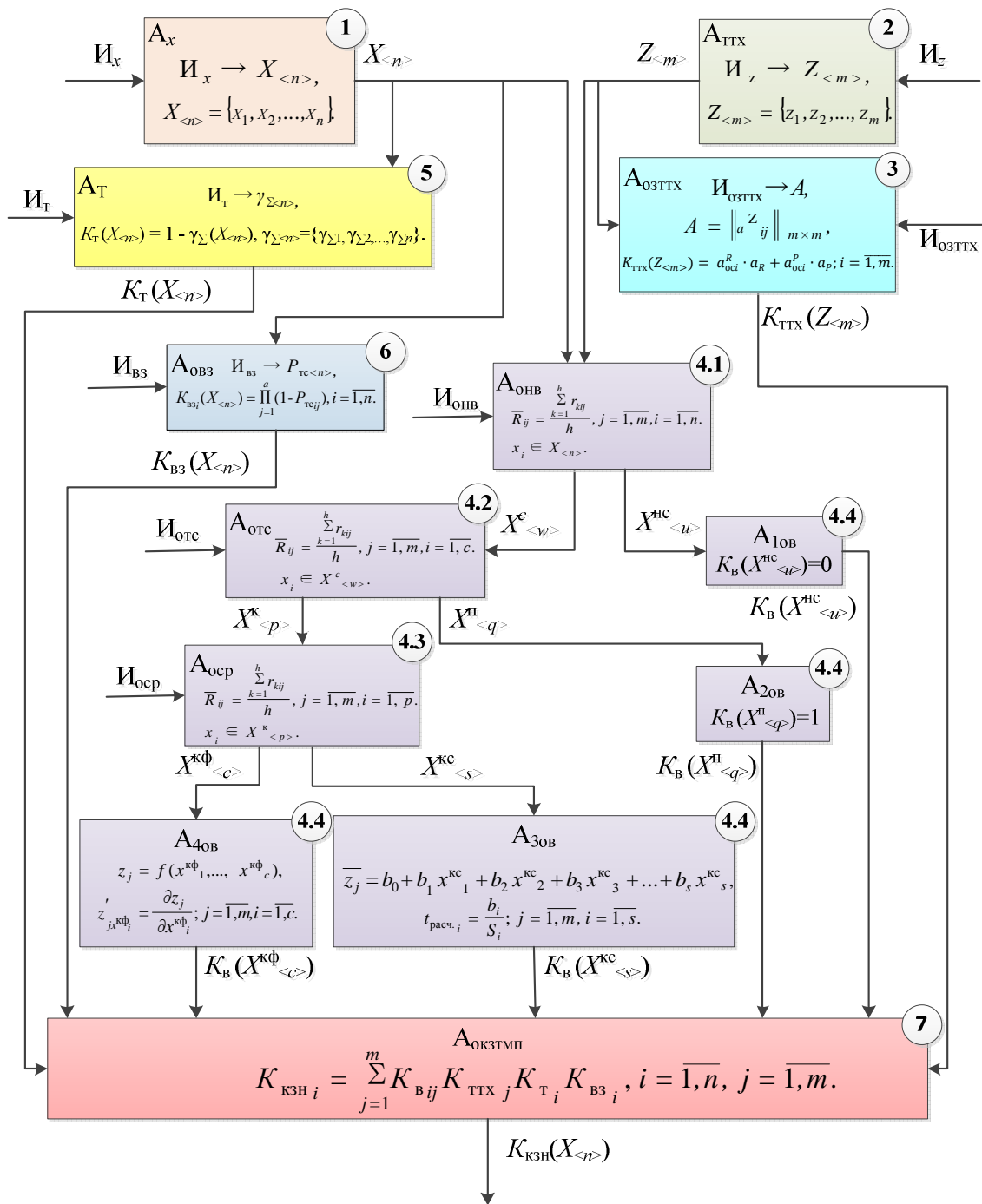


Рис. 1. Модель процесса определения комплексной значимости ТМП РН

При сравнении ОС с самим собой имеем равную относительность, так что значение $a^{z_{ii}}$ будет равно 1. Поэтому главная диагональ матрицы должна состоять из единиц. При обратном сравнении заносятся соответствующие обратные величины: 1, 1/3, ..., или 1/9. Числа 2, 4, 6, 8 и их обратные величины используются для облегчения компромиссов между слегка отличающимися от основных чисел суждениями. Далее осуществляется нормировка значений.

По результатам расчетов получаем значения отношений значимости одних ТТХ к другим по рейтингу (ограниченности доступа) ($a^{R_{ТТХ1}}, a^{R_{ТТХ2}}, \dots, a^{R_{ТТХm}}$) и ценности ($a^{P_{ТТХ1}}, a^{P_{ТТХ2}}, \dots, a^{P_{ТТХm}}$).

Для дальнейших расчетов необходимо определить отношение значимости одного показателя к другому (a_R, a_P).

Значимость ТТХ определяется по формуле

$$K_{\text{ТТХ}i} = a_{\text{ТТХ}i}^R \cdot a_R + a_{\text{ТТХ}i}^P \cdot a_P; i = (\overline{1, m}). \quad (3)$$

4. Комплекс операторов определения взаимосвязанности множества ТМП и ТТХ, включает в себя следующие операторы.

4.1. Оператор $A_{\text{онв}}$, который отражает процесс определения наличия взаимосвязи ТМП и ТТХ, формирования подмножества ТМП, связанных с ТТХ $X_{\langle w \rangle}^c = \{X_{1c}^c, X_{2c}^c, \dots, X_{wc}^c\}$, $X_{\langle w \rangle}^c \subseteq X_{\langle w \rangle}$, и подмножества ТМП, не связанных с ТТХ $X_{\langle u \rangle}^{\text{нс}} = \{X_{1\text{нс}}^{\text{нс}}, X_{2\text{нс}}^{\text{нс}}, \dots, X_{u\text{нс}}^{\text{нс}}\}$, $X_{\langle u \rangle}^{\text{нс}} \subseteq X_{\langle u \rangle}$, с учетом исходных данных $I_{\text{онв}}$ о наличии связи ТМП с ТТХ.

По результатам экспертной оценки формируется таблица опроса экспертов и проводится расчет усредненного показателя мнений экспертов о наличии взаимосвязи по формуле

$$\bar{R}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^h r_{kij}}{h}, \quad (4)$$

где r_{kij} – показатель наличия взаимосвязи i -го параметра с j -ми ТТХ, определенный k -м экспертом, $k = \overline{1, h}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$;

\bar{R}_{ij} – усредненный показатель наличия взаимосвязи i -го параметра с j -ми ТТХ, определяемый экспертами, при этом $R_{ij} \leq 1$;

h – количество экспертов;

n – количество параметров;

m – количество ТТХ.

Для того чтобы сделать окончательный вывод о наличии взаимосвязи i -го ТМП с j -ми ТТХ формируется условие, что при $\bar{R}_{ij} = 0$ i -й ТМП не связан с j -ми ТТХ, а при $\bar{R}_{ij} \neq 0$ i -й ТМП связан с j -ми ТТХ. При этом должны быть соблюдены условия нормировки: $\bar{R}_{ij} \leq 1$.

Очевидно, что для определения наличия взаимосвязи ТМП со всеми ТТХ вышеуказанных таблиц должно быть m , по количеству ТТХ.

4.2. Оператор $A_{\text{отс}}$, который отражает процесс определения типа взаимосвязи ТМП и ТТХ, формирования подмножества ТМП, связанных с ТТХ напрямую

$X_{\langle q \rangle}^{\text{п}} = \{X_{1\text{п}}^{\text{п}}, X_{2\text{п}}^{\text{п}}, \dots, X_{q\text{п}}^{\text{п}}\}$, $X_{\langle q \rangle}^{\text{п}} \subseteq X_{\langle q \rangle}^c$, и подмножества ТМП, связанных с ТТХ косвенно

$X_{\langle p \rangle}^{\text{к}} = \{X_{1\text{к}}^{\text{к}}, X_{2\text{к}}^{\text{к}}, \dots, X_{p\text{к}}^{\text{к}}\}$, $X_{\langle p \rangle}^{\text{к}} \subseteq X_{\langle p \rangle}^c$, с учетом исходных данных $I_{\text{отс}}$ о типах связи ТМП и ТТХ,

при этом $X_{\langle n \rangle} = X_{\langle w \rangle}^c \cup X_{\langle u \rangle}^{\text{нс}} = X_{\langle q \rangle}^{\text{п}} \cup X_{\langle p \rangle}^{\text{к}} \cup X_{\langle u \rangle}^{\text{нс}}$.

Экспертная группа на основе имеющихся данных о зависимостях ТМП и ТТХ определяет тип взаимосвязей ТМП подмножества $X_{\langle w \rangle}^c$ с ТТХ, далее рассчитывается усредненный показатель мнений экспертов о типе взаимосвязи по формуле (4). Для того чтобы сделать окончательный вывод о типе взаимосвязи ТМП и ТТХ, формируется условие, что $\bar{R}_{ij} = 0$, если все

эксперты признали связь ТМП $x_i \in X_{\langle w \rangle}^c$ с j -ми ТТХ косвенной, и $0 < \bar{R}_{ij} \leq 1$, если хотя

бы один эксперт признал, что связь ТМП $x_i \in X_{\langle w \rangle}^c$ с j -ми ТТХ является прямой, т.е. i -й ТМП непосредственным образом раскрывает j -е ТТХ.

4.3. Оператор $A_{\text{оср}}$, который отражает процесс конкретизации способа получения ТТХ с помощью ТМП, связанных с ТТХ косвенно, формирования подмножества ТМП, с помощью которых возможно получить ТТХ путем статистического моделирования

$X^{kc}_{\langle s \rangle} = \{x^{kc}_1, x^{kc}_2, \dots, x^{kc}_s\}$, $X^{kc}_{\langle s \rangle} \subseteq X^k_{\langle p \rangle}$, и подмножества ТМП, с помощью которых возможно получить ТТХ путем функционального моделирования $X^{kf}_{\langle c \rangle} = \{x^{kf}_1, x^{kf}_2, \dots, x^{kf}_c\}$, $X^{kf}_{\langle c \rangle} \subseteq X^k_{\langle p \rangle}$ на основе исходных данных $I_{отс}$ о способах получения (расчета) ТТХ с помощью ТМП.

Экспертная группа конкретизирует способ получения ТТХ с помощью ТМП подмножества $X^k_{\langle p \rangle}$, рассчитывается усредненный показатель мнений экспертов о конкретном способе получения ТТХ с помощью ТМП по формуле (4). Для того чтобы сделать окончательный вывод о способе получения ТТХ с помощью ТМП, формируется условие, что $\bar{R}_{ij} = 0$, если все эксперты признали, что связь ТМП $x_i \in X^k_{\langle p \rangle}$ с j -ми ТТХ можно получить лишь с помощью статистического анализа, и $0 < \bar{R}_{ij} \leq 1$, если хотя бы один эксперт признал, что связь ТМП $x_i \in X^k_{\langle p \rangle}$ можно получить путем математического моделирования.

4.4. Оператор $A_{об}$, который отражает процесс определения коэффициентов взаимосвязанности ТМП и ТТХ, при этом в операторе $A_{1об}$: $K_B(X^{hc}_{\langle u \rangle}) = 0$; в операторе $A_{2об}$: $K_B(X^{tl}_{\langle q \rangle}) = 1$; в операторе $A_{3об}$: $K_B(X^{kc}_{\langle s \rangle})$ – определяется путем построения регрессионной модели; в операторе $A_{4об}$: $K_B(X^{kf}_{\langle c \rangle})$ – определяется методом частных производных.

Параметрам подмножества $X^{hc}_{\langle u \rangle}$ присваивается коэффициент взаимосвязанности $K_B = 0$, ТМП подмножества $X^{tl}_{\langle q \rangle}$ присваивается коэффициент взаимосвязанности $K_B = 1$, который вносится в табл. 1 взаимосвязанности ТМП с ТТХ.

Расчет коэффициентов взаимосвязанности подмножества $X^{kc}_{\langle s \rangle}$ осуществляется путем построения многофакторной регрессионной модели и оценки значимости коэффициентов регрессии по t -критерию Стьюдента.

Для проведения расчета необходимо наличие экспериментальных данных запусков РН, где каждой комбинации значений ТМП из подмножества $X^{kc}_{\langle s \rangle}$ соответствует значение ТТХ z_j из множества $Z_{\langle m \rangle}$ [2].

Задача состоит в определении зависимости выходной величины (ТТХ) от факторов (ТМП):

$$z \approx f(x^{kc}_1, x^{kc}_2, \dots, x^{kc}_s), \quad (5)$$

где z – значение ТТХ;
 $x^{kc}_1, x^{kc}_2, \dots, x^{kc}_s$ – значения входных переменных (ТМП).

Линейная модель будет иметь следующий вид:

$$\hat{z} \approx b_0 + b_1 x^{kc}_1 + b_2 x^{kc}_2 + \dots + b_s x^{kc}_s = \sum_{i=0}^s b_i x^{kc}_i. \quad (6)$$

При этом $x^{kc}_0 = 1$. Наблюдаемыми величинами являются факторы x^{kc}_s и выходная величина z . Коэффициенты b_i должны быть такими, чтобы модельные значения z (вычисляемые по модели) мало отличались от наблюдаемых.

Значения коэффициентов b_i , удовлетворяющих заданному критерию, можно найти из системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial R}{\partial b_0} = 0; \\ \frac{\partial R}{\partial b_1} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial R}{\partial b_k} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

В матричном виде вектор искомых коэффициентов имеет вид

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Z, \quad (8)$$

где $X^T X$ – информационная матрица;
 $(X^T X)^{-1}$ – дисперсионно-ковариационная матрица.

После получения модели необходимо определить, насколько полученная зависимость отражает реальную – проверить адекватность модели. При этом нужно учитывать влияние случайных возмущений на выходную величину z .

Необходимо определить, имеется ли основание по известным оценкам дисперсий утверждать, что дисперсии не совпадают. Решается эта задача следующим образом:

1) выдвигается гипотеза о том, что дисперсии совпадают;
 2) рассматривается статистика, равная отношению оценок дисперсий, и строится для нее плотность распределения (для нормального распределения случайной величины z_i – это распределение Фишера) при условии, что гипотеза справедлива;

3) задается уровень значимости α – вероятность того, что гипотеза, при ее верности ошибочно отвергается. Этой вероятности в области возможных значений отношения оценок дисперсий соответствует так называемая критическая область. Гипотеза отвергается при попадании в критическую область, так как это область больших расхождений (обычно в числителе ставят ту оценку, которая больше);

4) по значению отношения оценок дисперсий гипотеза принимается или отвергается:

$$\frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\text{вос}}^2} < F_{1-\alpha}(\varphi_{\text{ост}}, \varphi_{\text{вос}}), \quad (9)$$

где $F_{1-\alpha}(\varphi_{\text{ост}}, \varphi_{\text{вос}})$ – квантиль распределения Фишера;
 $S_{\text{ост}}^2$ – дисперсия неадекватности;
 $S_{\text{вос}}^2$ – дисперсия воспроизводимости.

Если неравенство (9) выполняется, то принимается решение об адекватности математической модели (точнее, нет оснований отвергнуть полученную модель).

Для проверки значимости ТМП необходимо определить значимость их коэффициентов в модели.

Коэффициент b_i считается значимо отличающимся от нуля, если

$$|b_i| \geq t_{\text{кр}} S_{\text{вос}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{кр}}$ – критическое значение распределение Стьюдента для заданного уровня значимости α и $\varphi_{\text{вос}}$ степеней свободы (если оценка дисперсии воспроизводимости $S_{\text{вос}}^2$ имеет $\varphi_{\text{вос}}$ степеней свободы).

Далее осуществляется проверка значимости коэффициентов регрессии. При этом, если $t_{\text{расч},i} > t_{\text{кр}}$, то коэффициент b_i и, следовательно, ТМП $x_i^{\text{кв}}$ считаются значимыми, а если $t_{\text{расч},i} \leq t_{\text{кр}}$, то ТМП $x_i^{\text{кв}}$ считается незначимым и может быть исключен из уравнения регрессии [3].

После проверки значимости коэффициентов регрессии осуществляется их нормировка и присваивание ТМП коэффициентов взаимосвязанности с ТТХ (K_B).

Расчет коэффициентов взаимосвязанности подмножества $X^{\text{кв}}_{<c>}$ осуществляется методом частных производных.

Рассчитанные коэффициенты взаимосвязанности K_B заносятся в табл. 1.

5. Оператор A_T , который отражает процесс определения коэффициентов точности получения ТМП $K_T(X_{<n>}) = 1 - \gamma_{\Sigma}(X_{<n>})$, $\gamma_{\Sigma<n>} = \{\gamma_{\Sigma 1}, \gamma_{\Sigma 2}, \dots, \gamma_{\Sigma n}\}$, с учетом исходных данных I_T о погрешностях получения ТМП РН, где $\gamma_{\Sigma<n>}$ – множество погрешностей получения ТМП [4].

Таблица 1

Таблица взаимосвязанности ТМП и ТТХ

| № п/п | Параметры | K_B | | | | |
|----------|-----------|-------|-------|-------|-----|-------|
| | | z_1 | z_2 | z_3 | ... | z_m |
| 1 | x_1 | 0 | 0 | 0 | ... | 1 |
| 2 | x_2 | 1 | 0,7 | 1 | ... | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| n | x_n | 0,1 | 1 | 0,2 | ... | 1 |

6. Оператор $A_{ТВЗ}$, который отражает процесс определения коэффициентов вероятности предотвращения утечки результатов измерений ТМП $K_{ВЗi} = \prod_{j=1}^a (1 - P_{ТЦij}), i = \overline{1, n}, P_{ТЦ<n>} = \{P_{ТЦ1}, P_{ТЦ2}, \dots, P_{ТЦn}\}$ с учетом исходных данных $I_{ВЗ}$ о вероятностях предотвращения утечки результатов измерений ТМП, где $P_{ТЦ<n>}$ – множество вероятностей утечки результатов измерений ТМП с учетом применения контрмер (средств защиты), a – количество каналов утечки.

7. Оператор $A_{ОЗТМП}$, отражающий процесс определения комплексной значимости ТМП РН, которая рассчитывается как сумма произведений коэффициентов взаимосвязанности ТМП со всеми ТТХ, значимости ТТХ, точности определения ТМП и вероятности предотвращения их утечки $K_{кзнi} = \sum_{j=1}^m K_{ВЗij} K_{ТТХj} K_{Тi} K_{ВЗi}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, где n – количество ТМП, m – количество ТТХ.

Вывод. Разработанная модель процесса определения комплексной значимости ТМП РН позволяет создать алгоритмы и методики для определения ТМП, которые необходимо защищать от утечки, и ТМП, которые возможно передавать без применения средств защиты.

Список используемых источников

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
2. Штерензон В.А. Моделирование технологических процессов. – Екатеринбург: РГППУ, 2010. – 66 с.
3. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / пер. с нем. Г.А. Фомина, Н.С. Лецкого. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
4. Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В. Современная телеметрия в теории и практике: учебный курс. – М.: Наука и техника, 2007. – 672 с.

В.А. Плоткина;
П.А. Стародубцев,
доктор техн. наук, профессор
ТОВВМУ им. С.О. Макарова г. Владивосток

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ТРЕХ ВИДОВ ПОВЕРХНОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ ТЕЧЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

В публикации рассматривается актуальность исследования шероховатости поверхности. Данное направление дополняется исследованиями шероховатости поверхностей с разной высотой зернистости. Выделяются и описываются особенности влияния шероховатости поверхности на характеристики течения турбулентного пограничного слоя.

Ключевые слова: турбулентность, пограничный слой, сопротивление трения, шероховатость поверхности, перфорированная поверхность, абразивная поверхность, сетка.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уменьшение сопротивления трения в турбулентном потоке пограничного слоя является важным направлением исследования динамики жидкости и газа. Рост цен на топливо стимулирует разработку новых эффективных методов снижения вязкого сопротивления трения. При этом исследования, направленные на изучение различного рода воздействий на параметры течения в турбулентном пограничном слое, позволяют получить новые знания по возможности управления течением за счет изменения поверхностного трения.

Предлагаются разнообразные методы, способствующие снижению величины вязкостного трения [1, 2]. К ним относятся методы, направленные на совершенствование пристенной поверхности. Одним из наиболее важных факторов, влияющих на развитие турбулентности в пограничном слое, является наличие шероховатости на поверхности. Несомненно, придание поверхностям специальных свойств способствует повышению показателей качества конструкции в целом и в первую очередь показателей надежности. В результате исследованиями предложены поверхности с наличием продольных канавок или бороздок, а именно: риблетные поверхности [3]; податливые покрытия; поверхности с хаотической микроструктурой [4] и др. При этом размер и геометрия шероховатости на данных поверхностях заслуживают пристального внимания.

Таким образом, вид шероховатой поверхности играет важную роль в определении особенностей структуры турбулентности в пристенной области потока. Исследования отклика турбулентного пограничного слоя на локальные воздействия предпринимались рядом авторов. В экспериментальной работе [5] авторы исследовали влияние узкой полосы шероховатости поверхности на структуру турбулентного пограничного слоя. Результаты показали, что шероховатость оказывает влияние на характеристики турбулентного пограничного слоя, и как следствие они влияют на сопротивление трения.

Известно, что элементы шероховатости поверхности в зависимости от характера потока разделяют на k -тип и d -тип. Когда полости между шероховатыми элементами узкие и сдвиг шероховатости зависит от внешнего масштаба (например, диаметра трубы), то элементы шероховатости относят к d -типу, в то время как для k -типа шероховатость зависит от высоты неровностей.

Все поверхности в той или иной степени шероховатые. Понятие допустимой высоты шероховатости позволяет судить о том, при какой допустимой высоте зерен шероховатости об-

текаемую поверхность можно считать аэродинамически гладкой, когда интегральные характеристики турбулентного пограничного слоя, развивающегося на шероховатой поверхности, остаются еще неизменными.

Число Рейнольдса, рассчитанное по допустимой высоте шероховатости и динамической скорости $U_\tau = \sqrt{\tau_w/\rho}$, называется допустимым числом Рейнольдса $Re_{\text{доп}} = kU_\tau/\nu$, где τ_w – напряжения сдвига; ρ – плотность; k – высота зерен шероховатости; ν – коэффициент кинематической вязкости среды.

При обтекании шероховатой поверхности выделяют три режима:

1. Режим без проявления шероховатости:

$$0 < \frac{kU_\tau}{\nu} < Re_{\text{доп}}.$$

При данном режиме k меньше толщины вязкого подслоя δ_ν пристенного течения вблизи поверхности. Согласно теории считается, что поверхностное трение на шероховатой и гладкой поверхностях, при режиме без проявления шероховатости, одинаково.

2. Переходной режим, при котором

$$Re_{\text{доп}} < \frac{kU_\tau}{\nu} < 70.$$

Элементы шероховатости при этом режиме соизмеримы с толщиной вязкого подслоя и частично выступают за его пределы. Поверхностное трение на шероховатой поверхности больше, чем на гладкой.

3. Режим с полным проявлением шероховатости:

$$\frac{kU_\tau}{\nu} > 70.$$

Высоты зерен шероховатости больше вязкого подслоя. Закон сопротивления при обтекании шероховатой поверхности квадратичный [6].

В технических условиях течение около пластины (например, обтекание корабля, крыла самолета, лопатки турбины) обычно происходит при режиме, когда стенка не является гладкой. Поэтому течение около шероховатой поверхности (пластины) представляет такой же большой практический интерес, как и течение в шероховатой трубе.

При обтекании шероховатой поверхности важную роль играет относительная шероховатость k/δ , где δ – толщина пограничного слоя. Для пластины относительная шероховатость k/δ уменьшается по мере удаления от передней кромки пластины, так как толщина пограничного слоя увеличивается вниз по течению. Данное обстоятельство приводит к тому, что параметры турбулентного пограничного слоя и величина трения при обтекании тела будут меняться [7].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, с целью исследования шероховатости различных типов поверхности и их влияния на характеристики турбулентного потока были проведены эксперименты в специальной аэродинамической трубе АС-1 замкнутого типа (рис. 1).

Аэродинамическая труба (стенд АС-1) имеет следующие технические характеристики:

- габаритные размеры: длина 4,4 м; ширина 0,74 м; высота 2,1 м;
- размеры рабочей части: длина 1,4 м; ширина 0,2 м; высота 0,28 м и средняя скорость воздушного потока от 20 до 50 м/с.

Схема дозвуковой аэродинамической трубы-стенда (АС-1) замкнутого типа с открытой рабочей частью показана на рис. 2. Скорость потока в АС-1 регулируется ступенчато сменными дроссельными шайбами, установленными перед низконапорной вентиляторной уста-

новкой. Двигатель низконапорной вентиляторной установки – асинхронный электродвигатель переменного тока ДМ 160М 57М 2001 мощностью 15 кВт, с частотой вращения 2898 об/мин. Аэродинамический стенд выполнен из восьми основных сборных секций-блоков, скрепленных между собой болтовыми соединениями. Установка размещена вместе с электродвигателем и пускорегулировочной аппаратурой на массивном стальном фундаменте 13 с габаритами: 1,4 × 0,4 × 0,7 м. Привод является устройством, сообщаящим потоку газа необходимую энергию для получения различных скоростей в рабочей части стенда. Перед вентилятором установлена предохранительная сетка, защищающая его от механических повреждений в случае аварии с моделью в рабочей части.

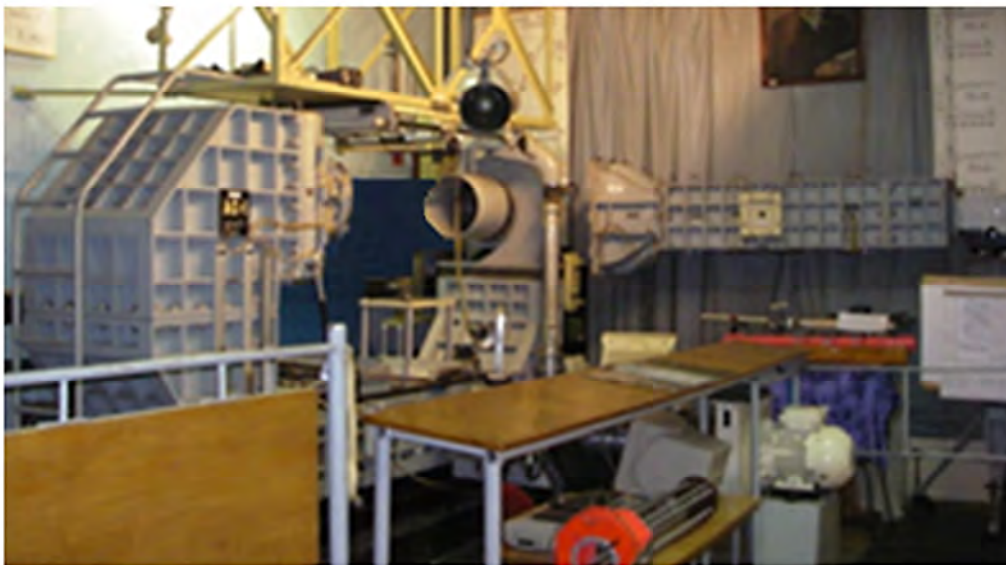


Рис. 1. Общий вид аэродинамической трубы (стенд АС-1)

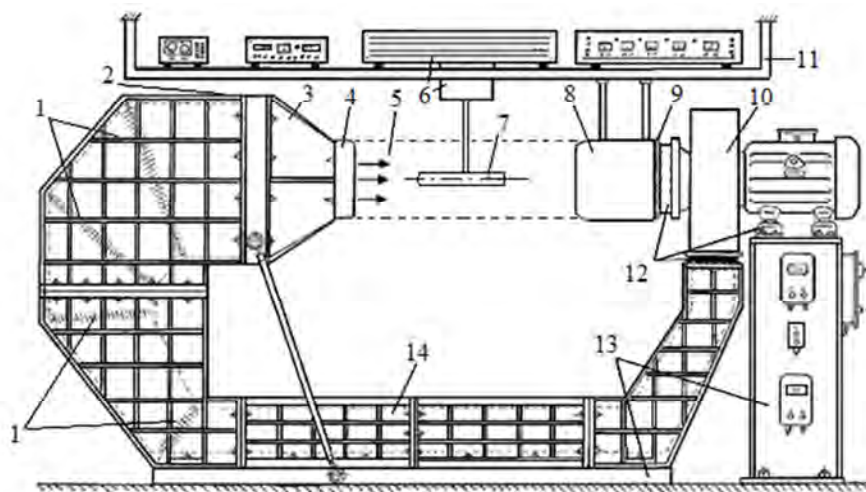


Рис. 2. Схема экспериментальной установки АС-1:

1 – направляющие профили; 2 – хонейкомб; 3 – конфузур; 4 – сопло; 5 – рабочая часть; 6 – динамометр с измерительной аппаратурой; 7 – модель; 8 – диффузор; 9 – резиновые вибропоглотители; 10 – вентиляторная установка; 11 – рамная конструкция; 12 – резиновые вибропоглотители; 13 – фундаменты; 14 – проточный канал

Проточный (обратный) канал 14 (рис. 2) прямоугольного сечения 0,6×0,4 м состоит из пяти секций-блоков переменного профиля, выполненных из высокопрочной авиационной березовой фанеры. Внутренняя поверхность всех секций тщательно обработана, обладает

минимальной шероховатостью поверхности с многократной пропиткой бакилитовым лаком и по длине имеет внешние ребра жесткости, установленные с частотой 0,15 м. Все секции канала через резиновые прокладки собраны на болтовых соединениях. В коленах обратного канала для выравнивания потока установлено 80 направляющих профилей 1, изготовленных штамповкой из сплава АМГ и поставленных под углом 50° к оси трубы. Хонейкомб 2 (см. рис. 2) размером $0,72 \times 0,72 \times 0,1$ м представляет собой секцию в виде сотообразной решетки, набранной из тонких пластмассовых пластин. Его назначение – выравнивать скосы потока, разрушать крупные вихри и снижать начальную турбулентность потока.

Шероховатые поверхности в ходе эксперимента представлены моделями в виде абразивной поверхности; стального перфорированного листа (пластины) и сплетенной стальной сетки (см. рис. 2).

Абразивная поверхность (рис. 3, а) – модель А изготовлена с учетом характерной зернистости, с помощью напыления окиси алюминия на основу в виде бумаги (табл. 1). Зерна на поверхности имеют одинаковый номинальный размер и равномерно распределены, чтобы достичь однородной шероховатости. Зерна составляют элементы шероховатости на абразиве. В связи с выступом элементов шероховатости в потоке в непосредственной близости к абразивной поверхности элементы выступают в качестве «местного препятствия» для пристенного течения, что приводит к нарушению потока в пристенной области. Исследование влияния данных препятствий протеканию потока – одна из целей эксперимента.

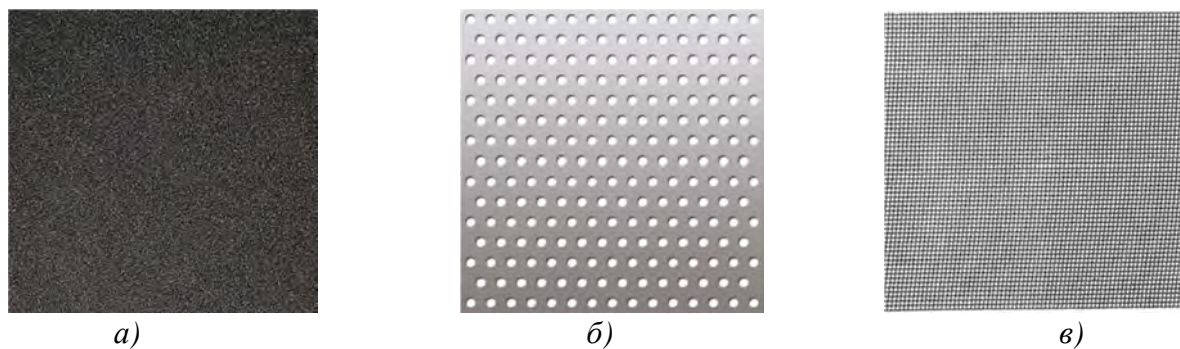


Рис. 3. Типы шероховатой поверхности:

а – абразивная поверхность (модель типа А);

б – перфорированная пластина (модель типа В); в – стальная сетка (модель типа С)

Поверхность в виде перфорированного листа (рис. 3, б) – модель В (табл. 1) имеет отверстия круглой формы, расположенные в шахматном порядке. Поверхность изготовлена из нержавеющей стали. Перфорированные отверстия одинаковые, с равными межцентровыми расстояниями. Наличие перфорированной поверхности существенно меняет картину обтекания пристенной области в отличие от гладкой поверхности. Поток в непосредственной близости от стены взаимодействует с полостями перфорированного листа. Исследование масштаба взаимодействия полостей перфорированной поверхности с потоком в пограничном слое также является одним из мотивов настоящего эксперимента.

Шероховатая поверхность, представленная сеткой (рис. 3, в) – модель С (табл. 1), имеет неровности, созданные путем чередования полос проводов с равными диаметрами. Помимо полостей или ячеек, создающих основу сетки, провода имеют переплетения в точке контакта. Данная компоновка создает эффект «местного препятствия» на поверхности, что деформирует картину обтекания потоком пристенной области. В результате полученный эффект представляет практический интерес по исследованию влияния данных взаимодействий на структуру турбулентности во внутренней и внешней областях пограничного слоя. При этом на основании данных Визельсбергера известно, что шероховатость, созданная проволокой

или другим телом, способствует более раннему переходу ламинарной формы течения в турбулентную [8].

Детальное описание характеристик исследуемых шероховатых поверхностей, в том числе проницаемых, приведено в табл. 1.

Таблица 1

Краткое описание характеристик моделей исследуемых поверхностей

| Тип модели | Вид шероховатой поверхности | Характеристики поверхности |
|------------|-------------------------------|--|
| А | Абразивная поверхность | 120 GRIT с высотой шероховатости 0,18 мм |
| В | Перфорированный стальной лист | Толщина 0,76 мм с круглыми отверстиями диаметром 1,2 мм, расстоянием 3,4 мм между центрами; коэффициент перфорации 22% |
| С | Стальная сетка | Диаметр провода 0,36 мм, который раскладывают с расстоянием по центру 1,68 мм, чтобы дать соотношение открытости 44% |

В качестве высоты шероховатости k рассматривается диаметр провода сетки, высота зернистости абразивной поверхности и толщина перфорированного листа. Таким образом, для перфорированного листа $k=0,76$; для сетки $k=0,72$, что равно удвоенному диаметру провода в точке переплетения. Отметим, что выбор высоты шероховатости является несколько произвольным и, возможно, неоднозначным; не следует путать с эквивалентным значением высоты песчаной зернистости k_{eq} .

На основании опытных данных, описывающих функцию шероховатости, получены значения $Re_{доп}$ в режиме без проявления шероховатости, в переходном режиме и режиме с полным проявлением шероховатости. Для повышения достоверности результатов эксперимента значение допустимого числа Рейнольдса шероховатости определялось на основании как результатов измерений интегральных характеристик турбулентного пограничного слоя (поверхностного трения), так и опытных данных по распределению скорости в пограничном слое, развивающемся на обтекаемой шероховатой поверхности.

Экспериментальное исследование влияния шероховатости моделей, указанных в табл. 1, на характеристики течения пограничного слоя осуществлялось с помощью трех датчиков, расположенных в рабочей части АС-1. Контроль давления и температуры осуществлялся также с помощью датчиков. Первый подключался к измерителю абсолютного давления с целью измерения продольной компоненты средней скорости в пограничном слое на участке 1300 мм (вниз по течению) от передней кромки исследуемой поверхности. Вторым датчик подключался к дифференциальному преобразователю для получения тепловой стабильности. Третий датчик размещался с целью уменьшения погрешностей.

Частоту дискретизации перекрестного потока (x) определяли с помощью осциллографа 10 кГц. С помощью зонда Пито для каждой шероховатой поверхности исследовался профиль скорости, в интервале от 15 до 45 м/с. Четырехкратные измерения использовались для определения режима потока. В результате, определив и выставив режим исследуемого потока с помощью второго и третьего датчиков, были получены колебания составляющих скорости.

Каждый экспериментальный запуск полностью контролировался компьютером и системой сбора данных. Оценка точности измерения скоростей проводилась через повторяемость результатов.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В общем случае среднее течение в слое шероховатости является трехмерным $U(x, y, z)$. Вблизи стенки возможно существование двухмерного течения, а неустойчивость приводит к возникновению трехмерного течения в пространстве между «местными препятствиями» моделей шероховатости. При обтекании элементов шероховатости возможно возникновение концентрированных вихрей. В результате исследование характера течений в зависимости от геометрии исследуемых моделей шероховатости определяется соотношениями динамической скорости $U_\tau = \sqrt{\tau_w / \rho}$; универсальной координаты по толщине слоя $y^+ = yU_\tau / \nu$, где y – поперечная координата.

Данные исследования проведены с целью изучения двумерного турбулентного потока пограничного слоя над поверхностью и в контексте градиента нулевого давления из-за его простоты как с точки зрения физики, так и геометрии. Существование граничного условия без скольжения на поверхности, встречающей поток, приводит к параметру среднего профиля скорости $U(y)$ (где y – координатное направление), который плавно сливается с внешним свободным потоком поля скоростей U_e . Толщина пограничного слоя $\delta(x)$ (где x – продольная координата) рассматривается как местоположение над исследуемой поверхностью, на которой локальное среднее значение скорости составляет 99% от значения свободного потока. Кроме толщины пограничного слоя также учитываются в продольном направлении θ – толщина импульса пограничного слоя и δ^* – толщина вытеснения. Толщина импульса связана с потерей импульса из-за шероховатости поверхности.

Согласно выводам Клаузера структура турбулентного пограничного слоя включает внутреннюю область с тремя подобластями: вязкий подслой, переходная область и область логарифмического профиля скоростей и внешнюю, включающую область закона следа с характерной для нее постоянной турбулентной вязкостью, существование которой ранее экспериментально установил Клебанов [9]. В результате внутренняя область, близкая к поверхности, характеризуется осредненной скоростью вдоль потока $U = f_i(y, \tau_w, \rho, \nu)$, а внешняя область при скорости набегающего потока U_e и скорости потока в данной области u_0 : $U_e - U = f_0(y, \delta, u_0)$.

Под воздействием шероховатости профиль скоростей около исследуемых моделей видоизменяется. Однако на шероховатой поверхности остаются справедливыми логарифмический профиль скоростей, формула Прандтля для турбулентного трения. Распределение величины пути перемешивания поперек пограничного слоя на шероховатой поверхности не изменяется. Непосредственно у исследуемых поверхностей формируется слой влияния шероховатости толщиной $y/k < 2$, $y^+ < 30$ – область течения, где значительно воздействие выступов шероховатости на поток, а касательное напряжение трения переменено по толщине слоя.

В табл. 2 представлены результаты исследования шероховатости трех моделей шероховатой поверхности и их влияние на характеристики турбулентного потока, где значения k/δ – относительная шероховатость поверхности; Re_θ – критерий Рейнольдса, основанный на толщине импульса ($U\theta/\nu$).

Таким образом, сдвиг в средней скорости из-за изменения условий, учитывающих шероховатость поверхности и скорость трения на поверхности с учетом логарифмического масштабирования профиля скорости, определяется выражением

$$U^+ = \underbrace{\frac{1}{\kappa} \ln \frac{(y + y_0) U_\tau}{\nu} + X - \Delta U^+}_{\text{I}} + \underbrace{\frac{2\Pi}{\kappa} \omega \left(\frac{y + y_0}{\delta} \right)}_{\text{II}},$$

- где y_0 – вертикальная координата расположения от поверхности относительно номинальной высоты элементов шероховатости;
 X, κ – константы, которые зависят от числа Рейнольдса и геометрии течения, $X=5, \kappa=0,41$;
 ΔU^+ – смещение линейной части профиля скоростей, $\Delta U^+ = \Delta U / U_\tau$;
 Π – сила следа Коула;
 ω – функция следа внешнего слоя.

В указанном выражении I представляет собой закон шероховатой поверхности, а II представляет собой закон следа.

Таблица 2

Результаты полученных исследований трех моделей шероховатой поверхности

| Модель | Опыт | U_e , м/с | U_τ , м/с | Re_θ | δ , мм | δ^* , мм | k/δ | θ , мм | U^+ | $c_f \times 10^3$ | Π | k^+ | k_{eq}^+ |
|--------|------|----------------|-------------------|-------------|------------------|--------------------|------------|------------------|-------|-------------------|-------|-------|------------|
| А | 1 | 15,9 | 0,66 | 3810 | 35,6 | 5,56 | 0,005 | 3,96 | 2 | 3,50 | 0,500 | 7 | 9 |
| | 2 | 26 | 1,10 | 5670 | 32,1 | 5,23 | 0,006 | 3,70 | 3,4 | 3,59 | 0,534 | 12 | 17 |
| | 3 | 36,1 | 1,55 | 8030 | 31,7 | 5,35 | 0,006 | 3,76 | 4,4 | 3,70 | 0,537 | 17 | 27 |
| | 4 | 45,3 | 1,97 | 10360 | 32 | 5,45 | 0,006 | 3,79 | 5,3 | 3,78 | 0,539 | 22 | 37 |
| В | 1 | 15,3 | 0,64 | 4030 | 38,2 | 6,26 | 0,020 | 4,46 | 2 | 3,60 | 0,511 | 29 | 9 |
| | 2 | 25,5 | 1,04 | 5870 | 35,3 | 5,34 | 0,022 | 3,81 | 2,2 | 3,34 | 0,540 | 47 | 10 |
| | 3 | 36,5 | 1,45 | 8080 | 34 | 5,22 | 0,022 | 3,72 | 2,4 | 3,15 | 0,590 | 66 | 11 |
| | 4 | 44,5 | 1,71 | 9130 | 32,7 | 4,86 | 0,023 | 3,52 | 2,5 | 3,00 | 0,591 | 77 | 12 |
| С | 1 | 15,6 | 0,82 | 4670 | 38,5 | 7,85 | 0,019 | 5,07 | 7,3 | 5,60 | 0,551 | 35 | 82 |
| | 2 | 25,6 | 1,33 | 7250 | 36,9 | 7,68 | 0,020 | 4,93 | 8,5 | 5,42 | 0,589 | 56 | 134 |
| | 3 | 35,6 | 1,84 | 9570 | 34,8 | 7,43 | 0,020 | 4,75 | 9,1 | 5,35 | 0,595 | 78 | 177 |
| | 4 | 44,8 | 2,30 | 12110 | 33,8 | 7,08 | 0,021 | 4,63 | 9,3 | 5,28 | 0,595 | 98 | 186 |

На характеристики турбулентного пограничного слоя влияют интенсивность турбулентности и градиент давления, которые также могут влиять на величину вязкостного трения c_f . Значения коэффициента трения для исследованных моделей шероховатых поверхностей выше, чем для гладкой поверхности.

Профиль логарифмической средней скорости вдоль области перекрытия может быть заменен степенной формой, зависящей от числа Рейнольдса:

$$U^+ = C(y^+)^{\gamma},$$

где C, γ – постоянные, зависящие от числа Рейнольдса [10].

Одновременно с логарифмической областью перекрытия профиль средней скорости выражается соотношением, известным как закон дефекта скорости [11]:

$$W^+ = \frac{U_\infty - U}{U_\tau} = F\left(\frac{y}{\delta}\right).$$

Согласно исследованиям Шлихтинга и Никурадзе для шероховатых поверхностей k -типа эквивалентная высота зернистости с учетом числа Рейнольдса равна $k_{eq}^+ = U_\tau k_{eq} / \nu$. Она может быть использована как индикатор степени шероховатости вблизи поверхности следующим образом: гидравлически гладкая поверхность будет при $0 < k_{eq}^+ \leq 5$; переходной режим при $5 < k_{eq}^+ \leq 70$; режим с полным проявлением шероховатости при $k_{eq}^+ > 70$ [13]. Шероховатость поверхности увеличивает касательное напряжение в пристенной области, что приводит к сдвигу профиля средней скорости вниз и вправо, при этом наклон логарифмического распределения сохраняется неизменным.

Как показано в табл. 2, значения безразмерной высоты шероховатости $k^+ = \frac{kU_\tau}{\nu}$ и величины размера зерен k_{eq}^+ не равны, это можно объяснить различной текстурой исследуемых типов поверхности [14, 15]. Данное наблюдение предполагает, что текстура, в частности, тип поверхности, оказывает значительное влияние на сдвиг шероховатости ΔU^+ . Значение Π при исследовании шероховатых поверхностей, как правило, больше, чем для гладких. При этом для каждого типа шероховатости наблюдается увеличение силовой величины следа Коула с изменением сдвигового течения вдоль исследуемой поверхности, что свидетельствует еще об одном примере влияния шероховатости поверхности при проникновении во внешнюю область течения пограничного слоя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На заключительном этапе исследований было оценено влияние шероховатости трех типов поверхности, а именно: абразивной поверхности, перфорированной и сетчатой поверхностей на профили средней скорости и некоторые интегральные параметры течения в двумерном пограничном слое с нулевым градиентом давления с использованием результатов эксперимента, полученных с помощью аэродинамической трубы типа АС-1. Полученные результаты доказывают, что течение вдоль шероховатых поверхностей не являются аналогичными случаю гладкой поверхности. На этом основании результаты указали на то, что полученные характеристики исследуемого течения вблизи шероховатой поверхности свидетельствуют о характерном влиянии шероховатости поверхности на профили средней скорости и структуру турбулентности в пограничном слое.

Пограничный слой на шероховатой поверхности представляется состоящим из двух областей: внутренней области вблизи стенки, распределение скоростей в которой полностью зависит от местных параметров потока, и внешней области, расположенной дальше от поверхности. Здесь прямой эффект вязкости незначителен, и в пределах точности эксперимента закон дефекта скорости остается универсальным для шероховатых поверхностей.

Кроме того, влияние шероховатости на параметры течения в пограничном слое зависит не только от высоты шероховатости, но и от размера и формы неровностей, плотности и равномерности их распределения на поверхности.

Приведенные закономерности позволяют судить о характере зависимости допустимой высоты шероховатости от условий течения потока не только по результатам измерения характеристик пограничного слоя, но и вследствие полученного результата профиля скорости в вязком подслое на исследуемой поверхности.

Список используемых источников

1. Корнилов В.И. Проблемы снижения турбулентного трения активными и пассивными методами (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. – 2005. – Т. 12, № 2. – С. 183–208.

2. *Плоткина В.А.* Теория пограничного слоя: монография. – Владивосток: ТОВВМУ им. С.О. Макарова, 2015. – 120 с.
3. *Samira Sayad Saravi, PhD Kai Cheng.* A review of drag reduction by riblets and micro-textures in turbulent boundary layers // European Scientific Journal November 2013 edition. – Vol. 9. – №33. – P. 62–81.
4. Влияние фрактальной микроструктуры обтекаемой поверхности на характеристики турбулентного пограничного слоя // М.А. Брутян, В.П. Будаев, А.В. Волков, А.М. Житлухин, А.В. Карпов, Н.С. Климов, И.С. Меньшов, В.Л. Подковыров, А.Ю. Урусов, А.А. Успенский, М.В. Устинов // Ученые записки ЦАГИ. – 2013. – Т. XLIV, № 4. – С. 15–30.
5. Влияние узкой полосы шероховатости поверхности на структуру турбулентного пограничного слоя / М.О. Оевола, М.С. Адарамола, А.Ф. Олаберинье, ДЖ.А. Акиниеме // Теплофизика и аэромеханика. – 2007. – Том 14, № 1. – С. 131–137.
6. *Михайлова Н.П., Ретик Е.У., Соседко Ю.П.* Допустимая высота шероховатости в турбулентном пограничном слое пластины в несжимаемой жидкости // Ученые записки ЦАГИ. – 2001. – Т. XXXII, № 1-2. – С. 90–101.
7. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя: монография. – М.: Наука, 1974. – 731 с.
8. *Горохов М.М., Корепанов А.В., Микрюков А.В.* Исследование влияния изолированной шероховатости поверхности сферы на переход ламинарного течения в турбулентное // Известия института математики и информатики. – 2006. – № 2(36) – С. 155–158.
9. *Лопин Ю.В.* Статистическая теория турбулентности: прошлое и настоящее (краткий очерк идей) // Научно-технические ведомости. – 2004. – № 2. – С. 1–35.
10. *Занун Э.С.* Масштабирование усредненного потока вдоль пограничных слоев на гладкой и шероховатой стенках // Теплофизика и аэромеханика. – 2010. – Т. 17, № 1. – С. 23–42.
11. *Михайлов В.В.* Универсальный закон дефекта скорости для турбулентного пограничного слоя // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2005. – № 2. – С. 89–101.
12. *Nagib H.M., Chauhan K.A.* Variations of von Karman coefficient in canonical flows // Phys. Fluids. – 2008. – Vol. 20. – P. 101518.
13. *Монин А.С., Яглом А.М.* Статистическая гидромеханика. – М.: – Наука, 1965. – 640 с.
14. *Hopkins M.R., Simpson Roger L.* Structure of Turbulent Boundary Layers with Dense Roughness // Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. – Orlando (Florida), 2010. – P. 1–15.
15. *Bisceglia S., Smalley R. J., Djenidi L., Antonia R. A.* Structure of Rough Wall Turbulent Boundary Layers at Relatively High Reynolds Number // 14th Australasian Fluid Mechanics Conference Adelaide University. – Australia (Adelaide), 2001. – P. 195–198.

Н.М. Черепанов;
А.М. Шаймарданов,
кандидат техн. наук

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ В ЦЕЛОМ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ

Предлагается основанный на получении математической модели в конечных приращениях относительно установившегося режима метод, позволяющий определить достаточные, оказывающиеся близкими к необходимым и достаточным, а в ряде случаев совпадающие с ними условия устойчивости систем с широтно-импульсной модуляцией.

Ключевые слова: устойчивость, асимптотическая устойчивость, широтно-импульсная модуляция.

В публикации рассмотрен вопрос получения условия асимптотической устойчивости в целом установившегося режима с постоянными значениями параметров управляющего воздействия γ° и $\text{sgn } e(i)$.

Последующие проведенные преобразования позволяют сделать вывод о том, что достаточным условием асимптотической устойчивости в целом установившегося режима с параметрами управляющего воздействия γ° и e° в системе с широтно-импульсным модулятором при определенных условиях является асимптотическая устойчивость линейных систем. А для анализа устойчивости сформированных линейных систем применимы все известные методы.

Непрерывная часть системы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), имеющая передаточную функцию $W_0(p)$, может быть описана уравнениями состояния [1]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + bu; \\ y &= c^T x + du, \end{aligned} \quad (1)$$

где x – n -мерный вектор переменных состояния;

A – матрица размерности $n \times n$;

b, c – Векторы-столбцы длины n ;

d – постоянный коэффициент;

y – выходная величина.

Поступающие на вход непрерывной части импульсы управления:

$$u(t) = \begin{cases} h \text{sgn } e(i); & iT \leq t < (i + \gamma_i)T; \\ 0, & (i + \gamma_i)T \leq t < (i + 1)T \end{cases} \quad (2)$$

имеют постоянную амплитуду h и переменную скважность γ_i . Величина скважности на i -м периоде дискретности определяется согласно выражению

$$\gamma_i = \text{sat } \beta^{-1} |e(i)|. \quad (3)$$

Преобразование последовательности значений ошибки управления

$$e_1(i) = g(i) - y(i) \quad (4)$$

осуществляется в дискретном корректирующем устройстве с передаточной функцией

$$D(z) = \frac{E(z)}{E_1(z)}. \quad (5)$$

От уравнений состояния (1) перейдем к дискретной модели приведенной непрерывной части системы в форме разностных уравнений [1, 4]:

$$x(i + 1) = A^* x(i) + b^*(\gamma_i) h \text{sgn } e(i); \quad (6)$$

$$y(i) = c^T x(i) + dh \operatorname{sgn} e(i),$$

где $A^* = \exp(AT)$;

$$b^*(\gamma_i) = \int_{(1-\gamma_i)}^T \exp(-A\sigma) b \, d\sigma.$$

Целью исследований является получение условий асимптотической устойчивости в целом установившегося режима с постоянными значениями параметров управляющего воздействия γ° и $\operatorname{sgn} e^\circ(i)$, при которых первое из уравнений (6) принимает следующий вид:

$$x^\circ(i + 1) = A^* x^\circ(i) + b^*(\gamma^\circ) h \operatorname{sgn} e^\circ(i). \tag{7}$$

Метод определения возможности существования такого режима и вычисления его параметров показан в (5) и в данной работе не рассматривается.

Установившийся режим (7) асимптотически устойчив в том и только в том случае, если управляющее воздействие приводит к выполнению условия

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \Delta x(i) = \lim_{i \rightarrow \infty} (x(i) - x^\circ(i)) = 0.$$

Зависимость величины $\Delta x(i)$ от управления получим вычитанием (5) из уравнений (1):

$$\Delta x(i + 1) = A^* \Delta x(i) + b^*(\gamma^\circ + \Delta\gamma_i) h \operatorname{sgn} e(i) - b^*(\gamma^\circ) h \operatorname{sgn} e^\circ(i). \tag{8}$$

Чтобы использовать уравнение (8) для анализа устойчивости, необходимо преобразовать его к виду $\Delta x(i + 1) = \varphi(\Delta x(i), \Delta e(i))$, что можно сделать следующим образом. В процессе управления $\operatorname{sgn} e(i) = \pm \operatorname{sgn} e^\circ(i)$. Рассматривая взаимные расположения $e(i)$ и $e^\circ(i)$, можно доказать справедливость следующих соотношений:

$$\operatorname{sgn} e(i) = \begin{cases} \operatorname{sgn} \Delta\gamma_i \operatorname{sgn} \Delta e(i), & \text{при } \operatorname{sgn} e(i) = \operatorname{sgn} e^\circ(i), \\ \operatorname{sgn} \Delta e(i), & \text{при } \operatorname{sgn} e(i) = -\operatorname{sgn} e^\circ(i), \end{cases} \tag{9}$$

которые с учетом модуляционной характеристики (3) запишем следующим образом:

$$\operatorname{sgn} e(i) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} \left| \frac{\Delta\gamma_i}{\beta^{-1}|e(i)| - \gamma^\circ} \right| \frac{\Delta e(i)}{\Delta\gamma_i}, & \text{при } \operatorname{sgn} e(i) = \operatorname{sgn} e^\circ(i), \\ \frac{1}{\beta \beta^{-1}|e(i)| + \gamma^\circ} \Delta e(i), & \text{при } \operatorname{sgn} e(i) = -\operatorname{sgn} e^\circ(i). \end{cases} \tag{10}$$

Использование значений (10) в (8) позволяет получить уравнения приведенной непрерывной части системы с ШИМ в отклонениях относительно установившегося режима.

Будем сравнивать процесс, описываемый полученными разностными уравнениями, с процессами в линейных импульсных схемах, имеющих передаточные функции приведенной непрерывной части:

$$W_{01}(z, \gamma) = \frac{h}{\beta} \left| \frac{\Delta\gamma}{\beta^{-1}|e| - \gamma^\circ} \right| \frac{1}{\Delta\gamma} \frac{B_1(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma)}{C_0(z)}, \operatorname{sgn} e(i) = \operatorname{sgn} e^\circ(i), \tag{11}$$

$$W_{02}(z, \gamma) = \frac{h}{\beta} \frac{1}{\beta^{-1}|e| + \gamma^\circ} \frac{B_2(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma)}{C_0(z)}, \operatorname{sgn} e(i) = -\operatorname{sgn} e^\circ(i). \tag{12}$$

В (11) и (12) подразумевается, что $\Delta\gamma = \Delta\gamma_i, e = e(i)$ и использованы обозначения:

$$\begin{aligned} \frac{B_1(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma)}{C_0(z)} &= c^T (zE - A^*)^{-1} (b^*(\gamma^\circ + \Delta\gamma) - b^*(\gamma^\circ)) + d, \\ \frac{B_2(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma)}{C_0(z)} &= c^T (zE - A^*)^{-1} (b^*(\gamma^\circ + \Delta\gamma) - b^*(\gamma^\circ)) + d, \end{aligned} \tag{13}$$

где E – единичная матрица.

Переход от уравнений (8) с подставленными значениями (10) к передаточным функциям (11) и (12) произведен с помощью известного метода [1] получения дискретной передаточной функции по уравнениям состояния:

$$W_0(z, \gamma) = c^T (zE - A^*)^{-1} b^*(\gamma) + d = \frac{B_0(z, \gamma)}{C_0(z)} \quad (14)$$

Менее трудоемкий способ, показанный в работе [4], позволяет избежать при вычислении $W_0(z, \gamma)$ выполнения матричных операций. Его применение возможно и при формировании передаточных функций (11) и (12). Необходимо только дополнительно определить:

$$\begin{aligned} B_1(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma) &= B_0(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma) - B_0(z, \gamma^\circ), \\ B_2(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma) &= B_0(z, \gamma^\circ + \Delta\gamma) + B_0(z, \gamma^\circ). \end{aligned} \quad (15)$$

При наличии линейного дискретного корректирующего устройства (5) от (11) и (12) следует перейти к рассмотрению линейных систем, имеющих передаточные функции разомкнутой части:

$$W(z, \gamma) = \begin{cases} W_{01}(z, \gamma)D(z), & \text{при } \operatorname{sgn} e(i) = \operatorname{sgn} e^\circ(i), \\ W_{02}(z, \gamma)D(z), & \text{при } \operatorname{sgn} e(i) = -\operatorname{sgn} e^\circ(i). \end{cases} \quad (16)$$

Проведенные преобразования позволяют сделать следующий вывод. Достаточным условием асимптотической устойчивости в целом установившегося режима с параметрами управляющего воздействия γ° и e° в системе с ШИМ является асимптотическая устойчивость при всех значениях e , принадлежащих по крайней мере одному из интервалов $(-\infty, e^\circ]$ или $[e^\circ, \infty)$ линейных систем с передаточными функциями разомкнутой части, построенными согласно соотношениям (16). Для анализа устойчивости сформированных линейных систем применены все известные методы.

Пример. Исследуем устойчивость широтно-импульсной системы, в которой

$$W_0(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)}, D(z) = 1.$$

Составив передаточные функции (16), найдем условия устойчивости линейных импульсных систем:

$$\frac{khT}{\beta} \left| \frac{\Delta\gamma}{\beta^{-1}|e| - \gamma^\circ} \right| < \min \left\{ \frac{2(1 + d_1)}{\left(2 \frac{T_1}{T} (d_1^{1-\gamma^\circ} - d_1^{1-\gamma^\circ - \Delta\gamma}) \Delta\gamma^{-1} + d_1 + 1 \right)}, \frac{1 - d_1}{\frac{T_1}{T} (d_1^{1-\gamma^\circ - \Delta\gamma} - d_1^{1-\gamma^\circ}) \Delta\gamma^{-1} - d_1} \right\},$$

при $\operatorname{sgn} e(i) = \operatorname{sgn} e^\circ(i)$,

$$\frac{khT}{\beta} \frac{\Delta\gamma + 2\gamma^\circ}{\beta^{-1}|e| + \gamma^\circ} < \min \left\{ \frac{2(1 + d_1)}{\left(2 \frac{T_1}{T} (2d_1 - d_1^{1-\gamma^\circ} - d_1^{1-\gamma^\circ - \Delta\gamma}) (2\gamma^\circ + \Delta\gamma)^{-1} + d_1 + 1 \right)}, \frac{1 - d_1}{\frac{T_1}{T} (d_1^{1-\gamma^\circ - \Delta\gamma} + d_1^{1-\gamma^\circ}) (2\gamma^\circ + \Delta\gamma)^{-1} - d_1} \right\},$$

при $\operatorname{sgn} e(i) = -\operatorname{sgn} e^\circ(i)$, $d_1 = \exp(-TT_1^{-1})$.

На рис. 1 для случая $TT_1^{-1} = 1$ показаны граничные значения коэффициента $khT\beta^{-1}$ при различных значениях γ° .

Применение изложенного метода позволяет построить область асимптотической устойчивости положения равновесия и процессов в целом. Ее граница показана на рис. 2 кривой 1. На этом же рисунке для значений $TT_1^{-1} = 2; 4$ показаны границы областей устойчивости кривыми 2 и 3 соответственно.

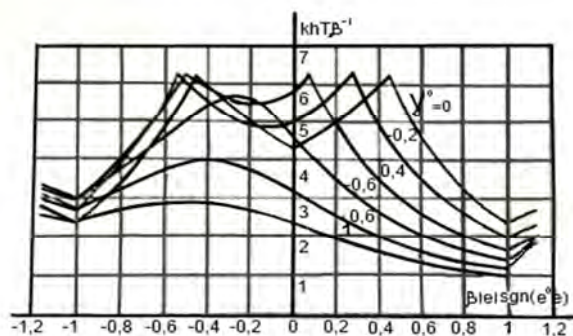


Рис. 1. Границы областей устойчивости системы с широтно-импульсной модуляцией

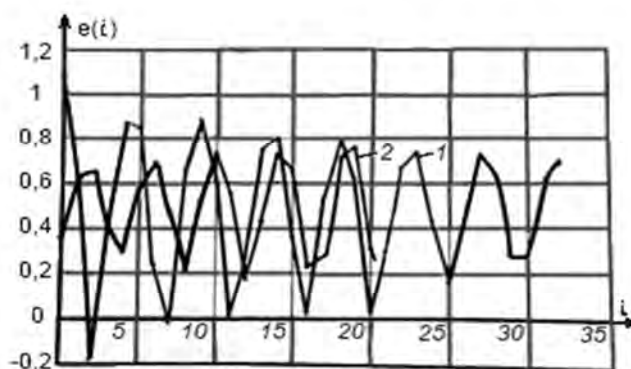


Рис. 2. Переходные процессы ШИС с переменной непрерывной частью

Достаточность найденных условий устойчивости подтверждают проведенные экспериментальные исследования. К примеру, при $h = 1, \beta = 1, T = T_1 = 1$ с на рис. 2 показаны процессы для случая $\gamma^\circ = 0,5$. Кривая 1 соответствует устойчивому процессу ($k = 2,5$), кривая 2 построена при значении $k = 3$, находящемся на границе устойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим следующее.

1. В рассмотренном методе требование асимптотической устойчивости, линейной системы (16) на всем интервале $e \in (-\infty, e^\circ]$ или $e \in [e^\circ, \infty)$ является завышенным, поэтому найденные условия являются достаточными. Однако они оказываются значительно шире определяемых методами Ляпунова или абсолютной устойчивости В. М. Попова [1 – 3].

2. Определяемые при $\text{sgn } e(i) = \text{sgn } e^\circ(i)$ условия являются условиями устойчивости в малом, т. е. необходимыми. Поэтому, если найденные условия устойчивости в целом ограничены этими значениями, то они являются необходимыми и достаточными. На рис. 3 области необходимых и достаточных условий устойчивости показаны штриховкой.

3. Изложенный метод позволяет определять области притяжения установившихся режимов. Для этого необходимо произвести показанные на рис.1 построения, а в приведенной выше формулировке условий устойчивости рассматривать значения $e \in [e_1, e^\circ], e \in [e^\circ, e_2]$, где $[e_1, e_2]$ – интервал, на котором необходимо обеспечить устойчивость системы с ШИМ.

4. Метод позволяет исследовать устойчивость систем с неустойчивой разомкнутой частью. В этом случае условия устойчивости накладывают ограничения на значения коэффициента передачи системы как сверху, так и снизу, и обеспечить устойчивость в целом невоз-

можно (по этой причине исследование таких условий методом Ляпунова оказывается безрезультатным). Однако можно определять области притяжения устойчивых процессов.

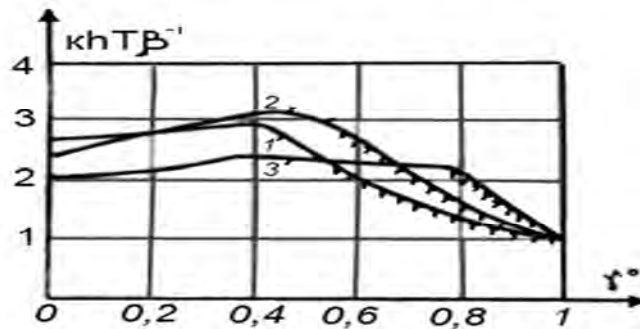


Рис. 3. Области необходимых и достаточных условий устойчивости

Пример аналогичных рис. 1 построенный показан на рис. 4 для случая

$$W_0(p) = k(T_1 p - 1)^{-1}, T T_1^{-1} = 1.$$

Штриховка направлена в сторону областей устойчивости.

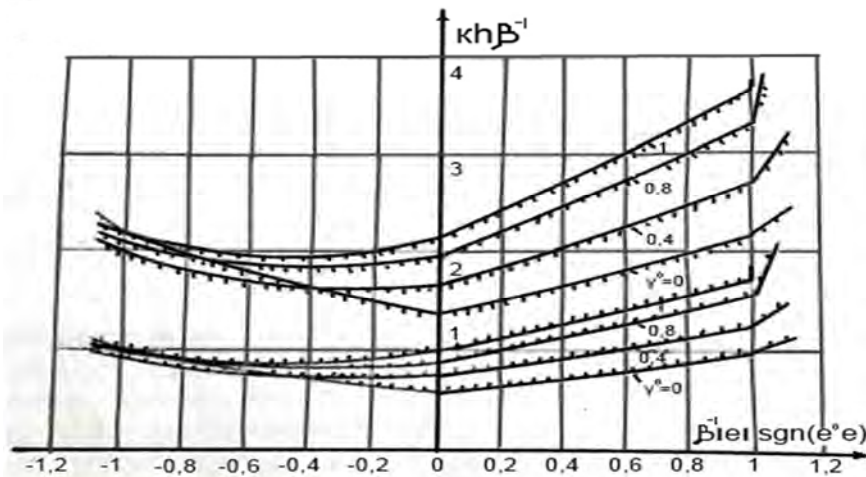


Рис. 4. Границы областей ШИС с неустойчивой разомкнутой частью

5. Существует возможность исследования устойчивости систем при действии типовых возмущающих воздействий f . Для этого вместо (1) следует рассматривать уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + bu + mf; \\ y &= c^T x + du + lf. \end{aligned}$$

Остальные построения проводятся аналогично тому, как показано в данной публикации.

6. Предложенный метод делает задачу исследования устойчивости систем с ШИМ по сложности соизмеримой с задачей анализа устойчивости линейных систем, поскольку приводит не к усложнению получаемых соотношений, а лишь к определенному увеличению объема вычислений на интервале $e \in [-\beta, \beta]$, что при наличии вычислительных средств не является препятствием.

7. При определении условий, накладываемых на коэффициент передачи сверху, можно уменьшить объем вычислений, воспользовавшись следующим упрощением. Передаточные функции (16) исследуются только при $e = e^\circ$ и на границах участков насыщения $e = \beta$, $e = -\beta$, причем в последнем случае можно ограничиться рассмотрением первого из выражений (16) при $\gamma^0 = 0$, $e = \beta$. В некоторых случаях найденные таким образом условия устойчивости ока-

зываются шире тех, которые получаются рассмотренным методом. Однако, как показали эксперименты, они обеспечивают достаточность асимптотической устойчивости в целом положения равновесия и процессов.

Список используемых источников

1. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. – М.: Наука, 1970. – 620 с.
2. Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем автоматического управления. – М.: Наука, 1983. – 336 с.
3. Кунцевич В.М., Чеховой Ю.Н. Нелинейные системы управления с частотно- и широтно-импульсной модуляцией. – Киев: Техника, 1970. – 339 с.
4. Лучко С.В., Крыжановский В.И. Математические модели автоматических систем с широтно-импульсной модуляцией // Изв. Вузов СССР. Приборостроение. – 1983. – № 6. – С. 31–34.
5. Лучко С.В., Аникин В.Я. Оценка точности широтно-импульсных систем в типовых режимах // Изв. Вузов СССР. Приборостроение. – 1983. – № 12. – С. 27–31.

Б.Д. Казахов,
доктор военных наук, профессор;
Д.А. Колягин,
кандидат военных наук;
Е.В. Шалонов,
кандидат военных наук

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ХОДЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМАНДНО-ШТАБНЫХ ВОЕННЫХ ИГР

В публикации на основе анализа ряда законов и законодательных актов, государственной итоговой аттестации слушателей магистратуры в 2017 году рассмотрены возможные пути повышения качества подготовки слушателей, показано влияние комплексных тактических задач и командно-штабных игр на формирование компетенций, определяемых федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС).

Ключевые слова: исследовательская командно-штабная военная игра (ИКШВИ), командное тактико-строевое учение (КТСУ), компетенции, военное образование, научно-исследовательская деятельность.

С 1 сентября 2013 года важнейшим компонентом в системе военного образования является подготовка офицеров, обучающихся по основным профессиональным образовательным программам магистратуры [1].

Данная подготовка офицеров космических войск по военной специальности «Управление воинскими частями и соединениями запуска и управления космическими аппаратами» осуществляется в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Важнейшим нормативным документом, определяющим содержательную сторону процесса обучения специалистов космических войск по образовательным программам магистратуры, является федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС) по соответствующему направлению подготовки. При этом, согласно Федеральному закону от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [2], утвержден новый ФГОС, представляющий совокупность требований, которые обязательно должны быть реализованы при обучении слушателей магистратуры по рассматриваемой специальности.

В соответствии с данными требованиями после освоения образовательной программы офицеры космических войск, получившие квалификацию «магистр», должны обладать шестью общепрофессиональными и тринадцатью профессиональными компетенциями. При этом анализ нового ФГОС и разработанных на его основе квалификационных требований к военно-профессиональной подготовке выпускников свидетельствует, что офицеры с квалификацией «магистр» после освоения образовательной программы по дисциплинам оперативно-тактической направленности должны уметь реализовывать различные функции и алгоритмы в следующем количестве:

- 1) «уметь выполнять» – более 30 функций и алгоритмов;
- 2) «владеть навыками выполнения» – до 20 функций и алгоритмов;
- 3) «иметь опыт выполнения» – до 5 функций и алгоритмов.

Важнейшим условием надления выпускников вышеперечисленными уровнями обученности является включение в процесс их подготовки занятий практической направленности. На основе имеющегося опыта обучения в образовательных организациях Министерства обороны Российской Федерации принято, что слушатели (курсанты) могут

реализовывать определенную функцию (алгоритм) при проведении с ними занятий практической направленности в объеме:

- для обеспечения функции (алгоритма) уровня «уметь выполнять» 8–12 часов;
- для обеспечения функции (алгоритма) уровня «владеть навыками выполнения» – 12–16 часов;
- для обеспечения функции (алгоритма) уровня «иметь опыт (навык)» – 16–20 часов.

Учитывая вышесказанное, можно обоснованно заключить, что значительную часть бюджета времени образовательной программы должны занимать занятия, проводимые в рамках реализации блока «Практики, в том числе научно-исследовательская работа». Направленность и содержание функций, которые следует освоить слушателям по оперативно-тактическим дисциплинам, позволяет говорить о том, что в рассматриваемом блоке ФГОС особое место требуется выделить групповым упражнениям (ГУ), практическим занятиям (ПЗ) и командно-штабным военным играм [3]. При этом все ГУ и ПЗ целесообразно объединить в систему логически взаимосвязанных занятий, проводимых на едином оперативно-тактическом фоне и в едином оперативном времени, сформировав тем самым совокупность комплексных тактических задач (КТЗ).

Именно наличие КТЗ в программе подготовки слушателей следует рассматривать как важнейшее условие привития им практических умений и навыков по исполнению функциональных обязанностей должностных лиц органов управления (ДЛОУ) воинских частей и соединений космических войск. Последовательность проведения занятий в рамках прохождения КТЗ должна базироваться на воспроизведении в учебном процессе логики работы ДЛОУ формирований космических войск при организации и выполнении подчиненными силами и средствами задач по предназначению, их всестороннего обеспечения в наиболее сложных условиях обстановки.

Учитывая важность КТЗ для подготовки будущих командиров (начальников штабов) воинских частей и соединений космических войск при переходе на обучение по новым ФГОС педагогическим коллективом кафедры оперативного искусства было принято решение, согласно которому:

- 1) бюджет учебного времени, выделяемого на прохождение КТЗ, был значительно увеличен и составил 12 зачетных единиц;
- 2) все задачи выделены в отдельный цикл «Учебная практика» (в рамках Блока 2 «Практики и НИР» учебного плана).

Определение количества и содержания КТЗ осуществлялось исходя из необходимости выполнения условия, что сначала слушатели последовательно осваивают навыки работы должностных лиц воинских частей (запуска и управления космическими аппаратами), а в последующем выполняют учебно-боевые задачи должностных лиц управления Государственного испытательного космодрома и Главного испытательного космического центра.

Следует отметить, что комплексность отработки учебных вопросов задач обеспечивается привлечением к их проведению преподавательского состава восьми кафедр академии. Прежде всего это обусловлено тем, что в ходе отработки учебных вопросов КТЗ слушатели исполняют обязанности не только командира и начальника штаба соединения (части) космических войск, но и других должностных лиц, организующих всестороннее обеспечение выполнения задач по предназначению.

В целях проверки качества усвоения учебного материала, стимулирования учебной деятельности слушателей в ходе КТЗ запланировано, что на завершающем этапе прохождения каждой задачи с ними будут проводиться контрольные работы, в ходе которых обучающимся надлежит выполнить комплексное квалификационное задание (ККЗ).

Основу ККЗ составляют ситуационные задачи, при решении которых слушатель должен продемонстрировать следующие умения:

- уяснять задачу, всесторонне оценивать обстановку, принимать решение и ставить задачи подчиненным;

- разрабатывать боевые графические и текстовые документы (в том числе с использованием геоинформационных систем военного назначения);
- докладывать и обосновывать выводы из оценки обстановки, решение на применение подчиненной воинской части (соединения).

В интересах повышения готовности слушателей к выполнению своих функциональных обязанностей в процессе их обучения планируется проведение двух исследовательских командно-штабных военных игр (ИКШВИ).

В отличие от прохождения КТЗ командно-штабные игры проводятся более динамично, без «методических перерывов» в оперативном времени. При этом все обучающиеся выполняют свои функциональные обязанности во временных рамках, определяемых соответствующими нормативами по организации выполнения задач по предназначению и управлению подчиненными силами в ходе решения поставленных задач. ИКШВИ являются кульминацией подготовки квалифицированного специалиста (офицера космических войск) и проверки уровня достижения предъявляемых требований к выпускнику академии [4].

Следует подчеркнуть, что при проведении КТЗ и исследовательских КШВИ преподавательский состав кафедры оперативного искусства и тактики старается использовать один из видов «новых образовательных технологий» – технологию «деятельного обучения». В основе осуществления рассматриваемой технологии лежит подготовка и проведение деловой игры, представляющей собой управленческую имитационную игру, в ходе которой участники, имитируя деятельность того или иного служебного лица, на основе анализа сложившейся (выданной, доведенной) ситуации принимают решения. Таким образом, анализируемая технология ориентирована на развитие у обучающихся умений анализировать конкретные практические ситуации и принимать решения.

При подготовке и проведении КТЗ и ИКШВИ педагогическим коллективом кафедры оперативного искусства и тактики, как основного методического идеолога данных мероприятий, особое внимание уделяется тому, чтобы вопросы задач и игр отрабатывались в рамках поучительной обстановки, характерной для современных боевых действий, требующей принятия обучающимися самостоятельных и смелых решений, дерзких и решительных шагов, выполнения ими внезапно возникающих задач в динамично меняющихся условиях, а также в условиях, максимально затрудняющих исполнение должностных обязанностей.

Почувственная обстановка на КТЗ и ИКШВИ достигается воссозданием характерных черт обстановки реальных боевых действий таких, как сложность, динамичность, противоречивость, кризисность.

Сложность обстановки достигается имитацией воздействия средств поражения по развернутым пунктам управления (группам боевого управления), полным или частичным выводом их из строя; информационным воздействием на созданные органы управления и элементы учебной АСУ; обязательным обозначением последствий применения противником оружия массового поражения и воздействия отравляющих веществ.

Динамичность обстановки достигается постоянным ее наращиванием и исключением стабильности положений и состояния действующих сторон (объектов, средств); созданием обстановки, предусматривающей выполнение обучающимися боевых задач сразу после доведения вводных.

Противоречивость обстановки достигается доведением до обучающихся неполных данных о положении и характере действий противоборствующих сторон и подчиненных сил (средств); сообщением ложной, недостоверной и противоречивой информации; наращиванием второстепенных данных обстановки. Противоречивость обстановки требует от обучающихся выбора взаимоисключающих решений, способов действий, нацеливает их на организацию и ведение непрерывной разведки.

Кризисность обстановки создается за счет доведения до обучающихся информации, содержащей данные по огневому воздействию на подчиненные силы (средства) с нанесением

им существенных потерь; уничтожению запасов материальных средств. Кроме того, кризисность обеспечивается созданием обстановки, требующей одновременного решения ряда задач (например, уничтожение диверсионно-разведывательных групп противника в районе расположения воинской части при одновременном выполнении задачи по подготовке ракеты космического назначения к пуску). Кризисность обстановки требует от обучающихся принятия нестандартных решений; исключает возможность выполнения боевой задачи (задачи по предназначению) ранее выбранным способом.

В целях обеспечения поучительной обстановки при отработке вопросов КТЗ и ИКШВИ на кафедре оперативного искусства и тактики организуется комплекс мероприятий методического сопровождения подготовки задач и игры. Прежде всего это заблаговременное проведение инструкторско-методических занятий с преподавателями, привлекаемыми к КТЗ, а также руководством и посредническим аппаратом ИКШВИ. В ходе этих занятий определяются цели предстоящих задач и игр, рассматриваются вопросы, обеспечивающие комплексность решения обучающимися учебных вопросов, и всестороннего обеспечения действий слушателей.

Итогом проведения инструкторско-методических занятий является формирование оперативно-тактического (тактического) фона, приемлемого для отработки учебных вопросов, определение этапов ИКШВИ, их продолжительности (по астрономическому и оперативному времени) и содержания, содержание и порядок доведения оперативных скачков и наиболее важных вводных. Данные итоги в последующем в обязательном порядке учитываются при разработке планирующих, административно-организационных, учебных и директивных документов, необходимых для подготовки и проведения КТЗ и ИКШВИ.

Военно-космическая академия является крупнейшим политехническим вузом МО РФ, где осуществляется подготовка военных кадров по широкому спектру специальностей. Данное обстоятельство обуславливает наличие определенных сложностей в подготовке и проведении ИКШВИ как учебного мероприятия, охватывающего отработку учебных вопросов в единой системе действий, объединенной актуальной для всех оперативно-тактической (тактической) обстановкой. Поэтому на кафедре оперативного искусства и тактики при формировании замыслов проведения ИКШВИ особое внимание уделяется созданию обстановки и определению учебных задач, обеспечивающих комплексность отработки учебных вопросов различными органами управления (функциональными группами, подразделениями).

В ходе ИКШВИ необходимая комплексность достигается тем, что действия органов управления формируются различного функционального предназначения (слушателей учебных групп по определенным специальностям подготовки) отрабатываются на едином оперативно-тактическом фоне, коррелируются по времени (астрономическому и оперативному), содержанию и ориентированы на обеспечение достижения целевого предназначения космических войск как единой организационно-технической системы. Таким образом, все учебные практические мероприятия, отрабатываемые обучающимися, взаимосвязаны между собой и учитывают порядок и структуру взаимодействия различных формирований космических войск, а также других видов и родов войск при решении задач по предназначению.

Кроме того, практика проведения в академии ИКШВИ подтвердила целесообразность реализации в ходе игр «общих заслушиваний» должностных лиц пунктов управления различных формирований космических войск [соединений и воинских частей запуска космических аппаратов (КА), управления КА, ракетно-космической обороны]. Эти заслушивания неизменно вызывают живой интерес у всех участников ИКШВИ, многие из которых впервые принимают участие в одновременном обсуждении специфических вопросов применения соединений и воинских частей космических войск, независимо от их функционального предназначения.

Чтобы слушатели имели лучшее представление о том, как решаются задачи в других формированиях космических войск, в ходе игры осуществляется посещение обучающимися соседних учебных командных пунктов на наиболее важных этапах их работы (отражение ударов ракетного противника, управление пуском ракет космического назначения и т. д.).

В целом комплексность отработки учебных вопросов при проведении КТЗ и ИКШВИ способствует формированию у слушателей системного мышления, позволяющего им «охватить» действия разнофункциональных формирований и представить их как единый сложный процесс. Это целостное представление является залогом того, что выпускники академии в ходе своей служебной деятельности смогут правильно организовывать взаимодействие с другими соединениями (воинскими частями, подразделениями), обеспечивая более эффективное (рациональное) применение подчиненных сил и средств.

Учитывая, что в процессе подготовки слушатели должны освоить навыки научно-исследовательской деятельности, проведение ИКШВИ нацеливается не только на проверку степени индивидуальной готовности выпускников к выполнению обязанностей по должностному предназначению в войсках, но и на апробацию научных результатов, полученных в ходе выполнения слушателями своих выпускных квалификационных работ.

Мероприятия, выполняемые слушателями при апробации своих научных результатов, отражаются в плане организации и проведения исследований на ИКШВИ. К разработке этого документа в обязательном порядке привлекаются научные руководители слушателей-магистров, а его содержание учитывает индивидуальную направленность исследований, проводимых обучающимися при освоении модуля «Научно-исследовательская работа». В целях создания в ходе игры условий для реализации результатов исследований магистров их научные руководители также привлекаются к разработке плана наращивания обстановки.

По итогам реализации и апробации своих научных результатов в ходе ИКШВИ (во время, определенное планом проведения игры, как правило, на ее завершающем этапе) каждый слушатель готовит и представляет доклад, сопровождаемый необходимым справочным и иллюстрационным материалом. На заслушивании этих докладов присутствуют представители штаба руководства, посреднический аппарат и все научные руководители слушателей, привлекаемых к игре учебных групп. Представленные результаты всесторонне обсуждаются с предоставлением возможности участия в дискуссии в первую очередь самим обучающимся. Данный подход позволяет формировать и стимулировать активную познавательную деятельность и навыки творческого мышления, воспитывать уважительное отношение к оппоненту в ходе проведения научной дискуссии.

По результатам заслушивания и обсуждения докладов комиссионно принимается решение о правомерности получения акта реализации в ходе ИКШВИ результатов научно-исследовательской работы каждым слушателем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, отметим, что целесообразность внедрения предлагаемых в публикации направлений повышения качества подготовки слушателей подкреплена результатами государственной итоговой аттестации в 2017 году. Анализ результатов этого вида контроля успеваемости и уровня подготовленности выпускников свидетельствует о следующем. Хорошо организованное и скоординированное проведение КТЗ и исследовательских КШВИ, повышение интенсивности и сложности отработки учебных вопросов в ходе данных мероприятий образовательного процесса способствуют тому, что обучающиеся в обстановке минимального информационного обеспечения и дефицита времени могут принимать более обоснованные решения и смелее отходить от их шаблонных вариантов, увереннее

действовать в сложных условиях обстановки, проявляя разумную самостоятельность. Вполне очевидно, что такие способности выпускников академии позволят им успешно выполнять должностные обязанности при руководстве крупными воинскими коллективами.

Список используемых источников

1. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 декабря 2013 г. № 1367. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70503294/> (дата обращения: 20.03.2018).
2. Об образовании в Российской Федерации: федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 20.03.2018).
3. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»: приказ МО РФ № 670 от 15.09.2014. – URL: <http://base.garant.ru/70791866/> (дата обращения: 20.03.2018).
4. Военная педагогика: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Питер, 2017. – 640 с.

И.Б. Казакова

следственный отдел по г. Балашиха Главного следственного управления Следственного комитета России

ОСОБЕННОСТИ НАЧАЛЬНОГО ЭТАПА РАССЛЕДОВАНИЯ УМЫШЛЕННОГО УНИЧТОЖЕНИЯ ИЛИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЕННОГО ИМУЩЕСТВА ОБЩЕОПАСНЫМ СПОСОБОМ (ПУТЕМ ВЗРЫВА)

Автором публикации выделено главное направление расследования умышленного уничтожения или повреждения военного имущества, совершенного общепасным способом – путем взрыва, выявлены особенности организации осмотра места происшествия по фактам взрыва или обнаружения взрывоопасных изделий.

В работе сформулирован целый ряд частных задач начальной стадии осмотра мест происшествия исходя из очередности их выполнения, которыми обусловлен порядок действия следователя по прибытии на место происшествия.

Автором дается характеристика отдельных следственных действий, таких как допрос свидетелей, обыск, освидетельствование, выемка технической документации, проведение экспертиз, а также особенности их проведения при расследовании преступлений.

Ключевые слова: военное имущество, взрыв, взрывное устройство, общепасный способ, осмотр места происшествия.

Проведенный ретроспективный анализ следственной практики военных следственных органов по рассматриваемой категории уголовных дел позволяет выделить следующие два подвида типичной следственной ситуации на начальном этапе расследования умышленного уничтожения или повреждения военными служащими военного имущества, совершенного общепасным способом – путем взрыва:

1) военное имущество уничтожено или повреждено в результате взрыва, при этом неясны причины взрыва и неизвестно виновное лицо;

2) военное имущество уничтожено или повреждено в результате умышленного производства взрыва и известно виновное лицо.

Главным направлением расследования является: а) изучение обстановки на поврежденном объекте и фиксация последствий взрыва; б) обнаружение, фиксация, изъятие следов и предметов, указывающих на возможные причины и способы совершения преступления, его конкретных виновников; в) процессуальное закрепление имеющихся и выявление дополнительных источников доказательственной информации, изобличающих виновное лицо в умышленном уничтожении или повреждении военного имущества путем взрыва; г) установление характера и размера вреда, причиненного преступлением; д) всестороннее изучение личности виновного лица; е) выявление обстоятельств, способствовавших совершению данного преступления.

В первом подвиде данной типичной следственной ситуации (военное имущество уничтожено или повреждено в результате взрыва, при этом неясны причины взрыва и неизвестно виновное лицо) проводятся следующие первоначальные следственные и иные действия:

1) осмотр места взрыва, в ходе которого происходит выявление, фиксация и изъятие материальных следов, определяющих непосредственную техническую причину взрыва и указывающих на конкретных военнослужащих, причастных к происшествию, а также фиксация материального ущерба и физического вреда, причиненного взрывом;

2) допрос свидетелей, потерпевших, воинских должностных лиц, личного состава караула (суточного наряда, дежурной смены), работников органов внутренних дел и пожарной охраны;

3) личный обыск и освидетельствование подозреваемого;

- 4) получение образцов для сравнительного исследования;
- 5) допрос подозреваемого;
- 6) выемка и осмотр технической документации, относящейся к военному объекту, на котором произошел взрыв;
- 7) проведение инвентаризации;
- 8) назначение взрывотехнической экспертизы с целью определения причины взрыва;
- 9) назначение технических экспертиз различных видов с целью определения размера причиненного вреда;
- 10) назначение судебно-медицинской экспертизы, экспертизы материалов, веществ и изделий, а также других видов судебных экспертиз.

Во втором подвиде данной типичной следственной ситуации (военное имущество уничтожено или повреждено в результате умышленного производства взрыва и известно виновное лицо) проводятся следующие первоначальные следственные и иные действия:

- 1) розыск подозреваемого по «горячим следам» и (или) объявление его в местный розыск;
- 2) допрос свидетелей, потерпевших, воинских должностных лиц, личного состава караула (суточного наряда, дежурной смены), работников органов внутренних дел и пожарной охраны;
- 3) осмотр места взрыва, в ходе которого происходит выявление, фиксация и изъятие материальных следов, определяющих непосредственную техническую причину взрыва и указывающих на конкретных военнослужащих, причастных к происшествию, а также фиксация последствий взрыва;
- 4) личный обыск, осмотр одежды и освидетельствование военнослужащего, заподозренного в совершении взрыва;
- 5) получение образцов для сравнительного исследования;
- 6) допрос подозреваемого;
- 7) выемка и осмотр документации службы РАВ;
- 8) проведение инвентаризации;
- 9) назначение взрывотехнической экспертизы с целью определения причины взрыва;
- 10) назначение технических экспертиз различных видов с целью определения размера причиненного вреда;
- 11) назначение судебно-медицинской экспертизы, экспертизы материалов, веществ и изделий, а также других видов судебных экспертиз.

В случае, если по «горячим следам» или в результате местного розыска задержать подозреваемого не удалось, то последовательность следственных и иных действий, согласно вышеуказанному перечню, изменяется с учетом того обстоятельства, что следственные действия с подозреваемым не проводятся.

Одним из самых сложных видов осмотра места происшествия является осмотр места взрыва, во время которого, наряду с изучением характера разрушений боевой техники, хранилищ, зданий и оборудования, производится поиск осколков подрывных средств, определяется примерный радиус ударной волны, извлекаются трупы из разрушенных сооружений, оказывается помощь пострадавшим. Кроме того, осмотр приходится проводить при строгом соблюдении дополнительных мер предосторожности во избежание обвалов, отравления ядовитыми газами и других несчастных случаев.

К основным задачам осмотра места происшествия по делам об уничтожении или повреждении военного имущества, совершенных с применением взрывных устройств, можно отнести:

- а) уяснение и фиксацию обстановки происшествия – выявление, фиксацию и изъятие материальных следов, определяющих непосредственную техническую причину взрыва и связанные с ним обстоятельства;
- б) выявление, фиксацию и изъятие материальных следов указывающих на конкретных военнослужащих, причастных к происшествию;

в) действия по ликвидации последствий взрыва, т.е. выявление обстоятельств, которые способствовали возникновению взрыва или возникли после него, угрожающих здоровью и жизни людей, для последующего принятия мер к их устранению;

г) фиксация материального ущерба и физического вреда, причиненного взрывом [1].

По своему содержанию названные выше задачи ничем не отличаются от задач осмотра по любому другому виду преступления, однако то, как обеспечивается решение вышеуказанных задач, и составляет суть тактико-криминалистических особенностей проведения осмотра места происшествия, связанного с взрывом.

В большинстве случаев первоочередным действием на месте происшествия является проведение работ по ликвидации последствий взрыва.

Затем необходимо незамедлительно осмотреть место взрыва. Важность этого мероприятия определяется тем обстоятельством, что эффективность изъятия следов некоторых боеприпасов и взрывчатых веществ значительно уменьшается с течением времени. Разрушительно действуют на их следы атмосферные осадки.

Трудоемкость осмотров мест взрывов обуславливается тем обстоятельством, что они охватывают большие площади, определяемые расстоянием разлета осколков, предметов окружающей обстановки, максимальными дальностями проявления действия ударной волны.

Кроме того, орудия преступления (боеприпасы, взрывчатые вещества) в значительной степени видоизменяются и разрушаются взрывом, а их остатки часто присутствуют на месте взрыва в микроколичествах. Поэтому для установления фактов и обстоятельств происшествия требуется фиксирование большого количества разрушений и перемещений окружающих объектов.

На подготовительном этапе осмотра места происшествия прежде всего необходимо выполнить ряд мер как общего характера, которые должны быть приняты заблаговременно еще перед выездом на место происшествия, так и ряд конкретных мер [2], осуществляемых по прибытии непосредственно на место происшествия и исходя из конкретной следственной ситуации.

Так, к мерам общего характера относятся: специальная криминалистическая подготовка по вопросам криминалистической взрывотехники субъектов осмотра (следователя и других лиц, принимающих участие в осмотре взрывоопасных объектов); заблаговременная подготовка наборов специальных взрывотехнических и общих криминалистических средств осмотра, проверка их наличия и укомплектованности перед выездом; заблаговременное решение вопроса о способе транспортировки, необходимых транспортных средствах и возможном месте хранения взрывоопасного предмета и его частей после производства осмотра; решение организационных вопросов по охране места происшествия и др. Конкретные меры заключаются в установлении охраны по периметру границ места происшествия.

До выезда на место происшествия необходимо иметь максимальную информацию о происшествии, в частности, получить ответы на следующие вопросы:

1. Где и когда произошел взрыв?
2. Кто о нем сообщил?
3. Имеются ли потерпевшие, оказана ли им помощь и где они находятся?
4. Каковы последствия взрыва, имеются ли разрушения, не возник ли пожар?

Особенности организации осмотра места происшествия по фактам взрыва или обнаружения взрывоопасных изделий обусловлены тем обстоятельством, что место взрыва может представлять большую площадь, определяемую разлетом осколков взрывного устройства и его частей, предметов окружающей обстановки, разрушенных под воздействием воздушной ударной волны.

К особенностям осмотра относится и то обстоятельство, что обстановка на месте происшествия может требовать незамедлительного проведения аварийно-восстановительных и спасательных мероприятий, например при взрыве в казарменном помещении или на борту надводного или подводного боевого корабля.

Необходимо помнить об опасности повторных взрывов, к которым может привести наличие на месте осмотра невзорвавшихся взрывных устройств или других взрывоопасных предметов. Многократно увеличивается степень опасности при осмотре места взрыва на войсковых складах боеприпасов.

Вышеуказанные особенности вызывают необходимость привлечения к осмотру места происшествия специалистов различных областей знаний. Так, присутствие специалиста-взрывотехника на месте происшествия позволит не только оказать помощь следователю в обнаружении объектов со следами взрыва и остатков взорванного изделия, определении границ места происшествия, составлении протокола и схем к нему, но и составить предварительное суждение о характере происшествия (природе взрыва), виде взорванного изделия (его принадлежности к боеприпасам, взрывным устройствам, изделиям промышленного назначения или спецтехники), способах его подрыва и приведения в действие, виде и массе взрывчатого вещества заряда. Эти данные, в свою очередь, позволят следователю сформулировать следственные версии, организовать оперативно-разыскные мероприятия и т. д. [3]

Следственная практика показывает, что в отсутствие специалистов-криминалистов обнаруживаются не все вещественные доказательства или наоборот изымается много объектов, не несущих значимой полезной доказательственной информации. Участие специалистов-криминалистов в осмотре эффективно в том случае, когда следователь ясно представляет себе круг обстоятельств, к исследованию которых привлекается специалист-криминалист.

И в первую очередь необходимо присутствие и непосредственное участие в осмотре специалиста в области взрывного дела. Так, с участием специалиста по взрывному делу следователь изучает предметы, обращение с которыми требует мер предосторожности, признаки взрыва, признаки очага взрыва, признаки конкретных видов боеприпасов и взрывчатых веществ, признаки относимости к взрыву обнаруженных на месте происшествия предметов, их частей, следов и др.

Если взрыв сопровождался пожаром, то к осмотру места происшествия необходимо привлечь экспертов в области пожарно-технической экспертизы.

Наиболее оптимальным представляется привлечение к осмотру места взрыва экспертов взрывотехнической лаборатории экспертно-криминалистических подразделений ФСБ России или МВД России. Специалисты-взрывотехники производят поиск, осмотр взрывоопасных или «подозрительных» изделий, дают рекомендации следователю о порядке их изъятия и транспортировке или указывают на необходимость уничтожения на месте.

До приезда специалистов-взрывотехников все работы на месте происшествия должны быть прекращены и участники осмотра удалены на безопасное расстояние. Если на месте происшествия есть потерпевшие, то необходимо участие в осмотре судебно-медицинского эксперта, а при невозможности его участия – иного врача.

Понятых можно приглашать, если производство осмотра места происшествия не связано с опасностью для их жизни и здоровья.

Для транспортировки или уничтожения взрывоопасных предметов должны привлекаться специалисты в области взрывотехники из воинских частей Минобороны России. При поступлении информации о возможном присутствии взрывоопасного изделия на месте происшествия можно обратиться и в дежурные части спецподразделений ФСБ России и МВД России. Большую роль в осмотре места происшествия играет участие специалиста-криминалиста, который оказывает содействие следователю при обнаружении, фиксации и изъятии следов и вещественных доказательств. При возникновении после взрыва пожара к осмотру места происшествия необходимо привлечь специалистов пожарных подразделений и экспертов пожарно-технической экспертизы, которыми располагают экспертные учреждения Минюста России (РФЦСЭ), МВД России (ЭКЦ МВД России), МЧС России, ВНИИПО. Они изучают особенности и характер горения и распространение огня, устанавливают причины пожара. Специалист-автотехник окажет помощь в осмотре автомашин, пострадавших от действия взрыва.

Чтобы исключить несогласованность действий участников осмотра, целесообразно до проведения осмотра иметь его план, список необходимых для участия специалистов, а также сотрудников экспертных учреждений и необходимых технических средств.

Задачи начальной стадии осмотра места происшествия, исходя из очередности их выполнения, можно разделить на следующий ряд относительно частных задач, а именно: а) предупреждение опасных последствий взрыва, возможных новых взрывов и обеспечение безопасности участников осмотра; б) выяснение личности потерпевших; в) помощь пострадавшим, оставшимся в живых; г) установление характера и причин взрыва; д) определение времени, обстановки, способа и средств совершения преступления; е) выявление данных, указывающих на личность преступника и форму вины [4]. Касаясь организационной стороны осмотра места взрыва, необходимо подчеркнуть и такой важный момент, как недопущение на место происшествия посторонних лиц, непосредственно не занятых в осмотре. Невыполнение этого требования часто приводит к усложнению работы с вещественными доказательствами, а иногда и их непроизвольному уничтожению. Поэтому, прибыв на место происшествия, следователь должен выполнить следующее.

1. Удостовериться, что охрана места происшествия организована правильно, потерпевшие эвакуированы, люди из опасной зоны удалены и приняты меры безопасности по предупреждению опасных последствий взрыва, новых взрывов, обеспечена безопасность всех участников осмотра. В случае, если потерпевший, будучи раненым, отправлен в лечебное учреждение, то следует направить туда дознавателя для возможного допроса.

2. Подробно опросить очевидцев, воинских должностных лиц и сотрудников полиции, находящихся на месте происшествия, об обстоятельствах взрыва, количестве потерпевших их установочные данные и место госпитализации, а также о том, не внесено ли кем-либо из них каких-либо изменений в обстановку места происшествия.

3. Дать поручение органам дознания и сотрудникам полиции о преследовании преступников по «горячим следам», проведении поквартирного обхода на прилегающей территории с целью обнаружения потенциальных свидетелей, прочесывании местности с целью поиска имеющихся следов преступника (обуви, транспортных средств и др.), а также брошенных им предметов. Если есть приметы преступника, то даются указания о его задержании.

4. С помощью специалистов и, если это необходимо, то кинолога со специально обученной собакой, необходимо обследовать место происшествия с целью обнаружения неразорвавшихся взрывных устройств. Устранение опасности повторного взрыва относится к первоочередным действиям на месте происшествия. При обнаружении подозрительных предметов следователь обязан проявлять крайнюю осторожность, не изымать их лично и удалить участников осмотра и других лиц с места обнаружения взрывоопасных материалов и изделий на безопасное расстояние. При этом должны приниматься и такие меры безопасности, как обесточивание электросетей, отключение газа [5].

5. Наметить порядок осмотра места взрыва.

6. Непосредственно перед началом осмотра следователь вместе со специалистом-взрывотехником (при его участии в осмотре) должен проинструктировать всех участников осмотра о мерах предосторожности при обращении с боеприпасами и взрывчатыми веществами.

Всю работу по изъятию, упаковке и транспортировке взрывоопасных предметов и материалов производит специалист-взрывотехник, а по их обезвреживанию – сапер. Осмотр, описание, фотосъемка подобного рода предметов и материалов после их обезвреживания производится в общем процессуальном порядке, но обязательно с участием специалиста по взрывному делу.

Приступая к осмотру, следователь должен знать, на какие следы и предметы необходимо обращать внимание на месте взрыва и какое криминалистическое значение они имеют. Так, на месте взрыва, особенно в тех случаях, когда он произошел на невзрывоопасном объекте, необходимо искать осколки или части подрывных средств (мин, гранат, снарядов, взрывате-

лей, капсулей-детонаторов, огнепроводных и детонирующих шнуров, электрических проводов и батарей, остатки упаковки взрывчатых веществ).

Наряду с поисками специфических для взрыва вещественных доказательств необходимо обращать внимание и на другие следы и предметы, с помощью которых можно выяснить обстоятельства преступления и его виновников (следы рук, ног, окурки и другие предметы, случайно оброненные преступниками на месте происшествия).

Вещественные доказательства, изымаемые с места взрыва для проведения в последующем различных криминалистических экспертиз, должны быть соответствующим образом упакованы в герметичную стеклянную тару [6]. В полиэтилен можно упаковывать крупные вещественные доказательства, для которых трудно найти стеклянную тару, их следует обертывать их в несколько слоев толстой полиэтиленовой пленки или помещать в герметично запааянные полиэтиленовые пакеты. В качестве сорбирующего материала, способного «впитывать» пары взрывчатых веществ, в упаковку из полиэтилена полезно поместить куски ваты или фильтровальной бумаги. Для упаковки особо крупных вещественных доказательств можно использовать плотную оберточную бумагу, оборачивая ею пакуемый предмет в несколько слоев.

Следует отметить, что взрыв и его проявление всегда индивидуальны и отличны друг от друга, что связано не только с большим многообразием используемых в преступных целях взрывных устройств (как промышленного, так и самодельного изготовления), но и косвенно с неповторяющимися обстоятельствами происшествия, а именно, с условиями подготовки и осуществления взрыва. Однако выявление и фиксация наибольшего количества признаков является основной задачей осмотра места происшествия, связанного с взрывом.

Допрос свидетелей-очевидцев и потерпевших. По окончании осмотра места происшествия, а если уголовное дело расследуется группой следователей, то одновременно с его проведением, допрашиваются свидетели-очевидцы, а также потерпевшие, находившиеся в районе взрыва, наблюдавшие за происшествием. Следственная практика убедительно показывает, что умелый, безотлагательно проведенный допрос свидетеля или потерпевшего дает ценную информацию для быстрого обнаружения и изобличения виновных. При этом эффективность допроса определяется не только строгим соблюдением процессуального порядка производства данного следственного действия, но также выбором и применением правильных тактических приемов.

В некоторых случаях, когда свидетели либо потерпевшие находятся под влиянием сильного стресса или в состоянии фрустрации, целесообразно отложить допрос до полного или частичного успокоения допрашиваемых. Данные психологии показывают, что отсроченное воспроизведение событий иногда более полно, систематизировано и осмысленно. С другой стороны, зачастую отсрочка допроса приводит к утрате из памяти воспринятых событий, к образованию пробелов, восполняемых за счет собственного домысливания или постороннего влияния.

Если свидетель видел взрывное устройство, то целесообразно, чтобы он воспроизвел его на рисунке с обозначением размеров характерных деталей. Такие рисунки в качестве приложений к протоколам допросов в ряде случаев представляют собой ценную доказательственную информацию. В некоторых случаях они могут служить объектами сравнительного исследования при экспертизе.

Свидетелям, которые могли знать о предшествующих взрыву обстоятельствах, обычно задаются следующие вопросы:

1. Рассказывал ли Вам обвиняемый о своих намерениях и что конкретно?
2. Проявлял ли осведомленность обвиняемый во взрывном деле или интерес к нему и в чём это выражалось?
3. Велись ли по этому поводу какие-либо разговоры, какие именно, при каких обстоятельствах?
4. Располагал ли обвиняемый специальной литературой или пытался заполучить таковую?

5. Предпринимал ли обвиняемый действия, направленные на создание или приобретение взрывного устройства?

6. Видел ли свидетель у обвиняемого детали взрывного устройства или готовые изделия и если да, то при каких обстоятельствах?

Во время допроса свидетелей выясняется: а) имелись ли в месте взрыва источники открытого огня; б) не оставались ли на объекте включенные электрические и газовые приборы или работающее оборудование; в) были ли заперты до взрыва двери и окна; г) была ли исправна и включалась ли звуковая сигнализация; д) не видели ли они каких-либо предметов или следов, указывающих на техническую причину взрыва (остатки взрывных устройств, неисправная электропроводка или оборудование). Кроме того, свидетели-очевидцы допрашиваются о том, кто, какие меры принимал для ликвидации взрыва, какие вносились изменения в обстановку на месте происшествия.

Так, свидетелям-очевидцам могут быть заданы следующие вопросы:

1. В связи с чем Вы оказались на месте происшествия?

2. При каких обстоятельствах Вы услышали взрыв?

3. Видели ли Вы на месте, где впоследствии произошел взрыв, лиц, которые вызвали у Вас подозрения и в связи с чем, каковы приметы этих лиц, можете ли Вы помочь составить их композиционный портрет?

4. Если Вы посчитали, что обнаруженный Вами на месте происшествия предмет предположительно является взрывным устройством, то по какой причине (слышал тиканье из свертка, видел торчащие провода и т. п.)?

5. Можете ли Вы указать время взрыва?

6. Где Вы находились в момент взрыва?

7. Если взрывов было несколько, то какова была их сила, последовательность и интервалы?

8. Наблюдали ли Вы явления, сопровождавшие взрыв (пламя, разлетающиеся во все стороны остатки взорванного предмета, деформацию боевой техники, падающие конструкции зданий, разбивающиеся стекла и др.)?

9. Где именно произошел взрыв (внутри или снаружи объекта), какова была интенсивность разрушения?

10. Не ощущалось ли при взрыве каких-либо специфических запахов?

11. Наблюдали ли Вы последствия взрыва и какие именно (пожары, трупы потерпевших, лиц с телесными повреждениями и др.)?

12. Заметили ли Вы лиц, незамедлительно покинувших место происшествия сразу после взрыва, не возвращались ли они обратно в процессе осмотра места происшествия и ликвидации последствий, каковы их приметы?

13. Против кого, по Вашему мнению, было направлено преступление?

При допросе очевидцев, видевших подозреваемых, необходимо учитывать, что экспериментально-психологическими исследованиями опознавательных процессов установлено:

а) относительная кратковременность наблюдения дает возможность воспринимать фигуру человека, а также половые, возрастные и национальные признаки;

б) наиболее доступны для наблюдения: форма лица, цвет глаз, величина и форма носа, губ, лба, бровей, подбородка и рта;

в) для взрослого наблюдателя рост, телосложение, цвет глаз и волос, нос и губы являются самыми значимыми отличительными элементами внешности человека;

г) информативность описания фигуры в целом невелика, обычно описываются ее общие признаки;

д) некоторая категория людей (характерно для детей) воспринимает элементы внешнего оформления полнее и точнее, чем собственно физический облик.

Также важные сведения о причине и обстоятельствах взрыва можно получить и при допросе потерпевших. Лицам, ликвидирующим последствия взрыва, медицинским работникам,

оказывающим помощь пострадавшим в госпитале, могут быть заданы вопросы, связанные с проявлением со стороны каких-либо лиц интереса о состоянии здоровья потерпевших.

Допрос в качестве свидетелей воинских должностных и иных лиц. Допрос воинских должностных лиц, ответственных за соблюдение правил техники безопасности, лиц из состава суточного наряда и караула, представителей командования, как правило, сосредоточивается на выяснении вопросов, раскрывающих порядок хранения, состояние и количество уничтоженного военного имущества, а также обстоятельств, свидетельствующих об обращении с оружием, боеприпасами или взрывчатыми веществами. Кроме того, выясняются вопросы, связанные с ликвидацией последствий взрыва, а также вопросы, относящиеся к состоянию взрывобезопасности на военном объекте, касающиеся лиц, подозреваемых во взрыве, в несоблюдении правил безопасности.

При расследовании взрывов, когда непосредственная причина происшествия связана с производственной деятельностью на поврежденном военном объекте, в качестве свидетелей допрашиваются инженерно-технические работники, работники цехов, дежурные пультов управления, сотрудники инспекции котлонадзора и другие лица, имеющие отношение к производственной деятельности или технической эксплуатации объекта и надзору за техникой безопасности. При допросе этих свидетелей выясняются вопросы, касающиеся технического состояния военного объекта до взрыва, качества сырья и готовой продукции, допущенных нарушений технологического режима, техники безопасности и технического состояния оборудования, соблюдения правил хранения и использования, учета, перевозки взрывчатых веществ или боеприпасов.

Разыскные мероприятия. В ходе проведения первоначальных следственных действий органами дознания проводятся оперативно-разыскные мероприятия. Обследуя район вокруг места происшествия, органы дознания принимают меры к обнаружению лиц, причастных к взрыву, выявляют места незаконного хранения взрывчатых веществ, использованных для совершения преступления, проверяют факты появления незадолго до происшествия подозрительных лиц, организуют наблюдение за отдельными военнослужащими.

Используя данные осмотра места происшествия, оперативно-разыскных мероприятий, допросов свидетелей и потерпевших, следователь производит ряд других действий, в частности, задержание и обыск лица, подозреваемого в совершении взрыва, а также обыск в тех местах, где обоснованно предполагается наличие каких-либо предметов, имеющих отношение к происшествию.

Обыски по делам об умышленном уничтожении или повреждении военного имущества, совершенных с применением взрывных устройств, могут решать те же задачи, что и по другим категориям уголовных дел. Наряду с этим имеются некоторые особенности, обусловленные спецификой данной категории уголовных дел, так как чем быстрее будет произведен обыск у подозреваемых военнослужащих, тем больше вероятность обнаружения взрывных устройств, их деталей, взрывчатых веществ и иных следов совершенного преступления.

Цель личного обыска – обнаружить предметы и следы, указывающие на причастность подозреваемого к взрыву. Так, в карманах обмундирования военнослужащего и на его руках могут сохраниться частицы взрывчатых веществ, их упаковки, следы смазки. Осмотр вещей и обмундирования целесообразно проводить в ультрафиолетовых лучах. Обнаруженные частицы и пыль собираются в пробирки.

При обыске в жилом и служебном помещениях надо искать пиротехнические средства, зажигательные и взрывчатые вещества, кустарные средства и приспособления, которые могли быть использованы подозреваемым при взрыве.

Во время обыска разыскиваются предметы и вещи, которые должны были бы находиться на месте взрыва. Ими могут быть: различные ценности, оружие, боеприпасы, предметы военной техники, содержащие драгметаллы, денежные средства. У подозреваемого могут быть найдены также различные технические справочники, пособия, схемы взрывных устройств, свидетельствующие о его интересе ко всему относящемуся к взрывам.

Успех производства обыска в значительной мере зависит от качественного проведения подготовительного этапа. Предварительные сведения об искомых предметах следователь может почерпнуть из результатов осмотра места происшествия, первоначальных допросов свидетелей-очевидцев, подозреваемого, заключения взрывотехнической экспертизы, оперативных данных. С учетом этой информации определяется состав группы и необходимое техническое обеспечение. Задача участвующих в обыске специалистов заключается в консультировании следователя, применении поисковых приборов, упаковке обнаруженных предметов, представляющих интерес для следствия, фиксации хода обыска на фото- и видеопленку. В ряде случаев для поиска тайников в качестве специалистов могут быть привлечены столяры, плотники, электрики и др.

Участвующий в обыске кинолог может по заданию следователя использовать служебно-разыскную собаку для обнаружения взрывчатых веществ (следует учесть, что собаки успешно отыскивают тротил; при розыске других взрывчатых веществ их применение неэффективно). В качестве технического обеспечения (помимо средств обнаружения тайников) целесообразно иметь переносной газовый хроматограф «Эхо» для экспресс-анализов. С помощью такого прибора можно определить, например, наличие частиц взрывчатых веществ в воздухе помещения, на различных предметах и определить тип этих веществ.

Весьма эффективно применение портативного детектора взрывчатых веществ «МО-2», позволяющего обнаружить следовые количества паров взрывчатых веществ на различных объектах, в том числе в полевых условиях, или комплекта для полевой проверки на наличие взрывчатых веществ. В него входит тестовая бумага, с помощью которой можно определить наличие следов тротила, нитроглицерина и других взрывчатых веществ на различных поверхностях, в том числе на руках, тканях и др. Однако использование хроматографа «Эхо» и детектора «МО-2» дает только ориентирующую информацию о направлении хода обыска и расценивается как предварительное исследование вещества, ни в коем случае не подменяя собой проводимую впоследствии экспертизу.

Допрос подозреваемого. Во время допроса подозреваемого выясняется, где он находился в момент взрыва, чем он занимался в это время, кто его мог видеть за этим занятием, что ему известно о происшествии. В необходимых случаях он допрашивается по результатам обыска.

Освидетельствование. При наличии достаточных оснований заподозренный в подрыве может быть подвергнут освидетельствованию для установления на его лице, руках и других частях тела возможных следов действия взрывчатых веществ. Так, например, ладонные поверхности рук подозреваемого рекомендуется обтереть смоченным тем или иным растворителем (спирт, дистиллированная вода) ватным тампоном, который необходимо упаковать в пробирку.

Выемка технической документации. Следует иметь в виду, что интересующая следователя документация может находиться не только на осматриваемом военном объекте, но и в различных отделах и службах воинской части. Помощь специалистов даст возможность следователю правильно определить перечень всех документов, имеющих значение для уголовного дела. Техническая документация, относящаяся к военному объекту, на котором произошел взрыв, является необходимым источником сведений, дополняющих общую картину происшествия. Поэтому она должна быть изъята и приобщена к делу.

Назначение экспертиз. Всегда по делам о взрывах назначается взрывотехническая экспертиза, объектами которой являются главным образом вещественные доказательства (например, остатки взрывчатого вещества, неразорвавшееся взрывное устройство, остатки его упаковки, изделия, содержащие взрывчатые вещества, предметы вещной обстановки с продуктами и следами взрывного воздействия, одежда и обувь потерпевших).

Специфическими объектами взрывотехнической экспертизы являются также образцы – различного рода предметы и документы, представляемые для сравнительного идентификационного исследования (рукописные документы обвиняемых и подозреваемых лиц, напри-

мер, по делам, связанным с отправкой взрывных устройств по почте, схемы взрывного устройства, обнаруженные у подозреваемого военнослужащего во время обыска).

Вместе с тем объектами взрывотехнической экспертизы могут быть и иные материалы дела, содержащие данные, относящиеся к предмету взрывотехнической экспертизы и необходимые для решения поставленных вопросов (протоколы и видеозапись осмотра места происшествия, схемы, протоколы допросов, следственного эксперимента, расшифровка телефонных переговоров подозреваемого, акты судебно-медицинского освидетельствования потерпевших и заключения судебно-медицинской экспертизы трупов с приложением схемы расположения на них повреждений) [7].

Взрывотехническая экспертиза, как правило, носит комплексный характер и требует привлечения специалистов, обладающих познаниями в различных областях науки, техники, ремесла. Комплексные экспертизы назначаются, когда установление того или иного обстоятельства требует использования познаний, относящихся к нескольким отраслям. Например, по делам данной категории характерно проведение комплексных судебно-взрывотехнических и медико-криминалистических, судебно-взрывотехнических и пожарно-технических экспертиз. Участники комплексной экспертизы исследуют одни и те же объекты с использованием специальных знаний различных отраслей с тем, чтобы на основе взаимодополнения результатов дать ответы на вопросы, выходящие за пределы компетенции одной отрасли знаний.

Кроме того, по факту взрыва нередко возникает необходимость в назначении других видов экспертиз, последовательность проведения которых определяется с учетом информативности выявленных на стадии предварительного исследования признаков и необходимости обеспечения сохранности криминалистических следов, являющихся основными объектами последующих исследований. В противном случае важная для следствия и розыска информация может быть утрачена, а вещественные доказательства – преждевременно видоизменены или разрушены. Избежать этого – одно из главных требований криминалистического подхода к исследованию всей совокупности признаков, выражающих свойства вещественных доказательств и характеризующих их основные особенности.

Тем не менее, как показывает следственная практика, указанное требование на стадии обнаружения и фиксации следов взрыва не всегда выполняется, так как отсутствует тщательное их выявление и не обеспечивается надлежащая сохранность следов на изымаемых с места происшествия объектах. Наличие на вещественных доказательствах следов папиллярных узоров рук, оставленных (возможно) лицами, причастными к совершению противоправных действий, вызывает необходимость проведения дактилоскопической экспертизы с решением традиционных для этого вида исследований вопросов до назначения взрывотехнической экспертизы.

Полезная информация о лице-изготовителе взрывного устройства может быть получена после проведения биологической экспертизы выявленных на месте взрыва следов потожировых выделений, крови, волос и т. п. Исследование в рамках физико-химической экспертизы обнаруженных микрообъектов, таких как волокна одежды, следы лакокрасочного материала, нефтепродуктов, частицы веществ, позволяет получить информацию об их природе, виде материала и свойствах. Указанные экспертные исследования проводятся с использованием соответствующих инструментальных методов по разработанным методикам без разрушения объектов-носителей. Они осуществляются до проведения химического исследования по обнаружению следовых количеств взорванного вещества в рамках взрывотехнической экспертизы. В связи с этим основным требованием, предъявляемым к проведению дактилоскопической, биологической, физико-химической экспертиз по факту взрыва, является обеспечение сохранности микроколичеств взрывчатых веществ на исследуемых вещественных доказательствах – возможных носителях следов взорванного вещества.

Эффективность проведения взрывотехнической экспертизы нередко зависит от правильности постановки вопросов, выносимых на ее разрешение. Обобщение следственной практи-

ки показывает, что зачастую на экспертизу по факту взрыва выносятся слишком большое количество вопросов, что неоправданно затягивает сроки ее проведения. На многие из них ответить не представляется возможным ввиду отсутствия соответствующих вещественных доказательств. Другие исключаются по логике события или не имеют отношения к существу дела. Встречаются вопросы, не входящие в компетенцию эксперта-взрывотехника. Особенно это касается вопросов установления причинно-следственных связей между взрывом и действиями конкретных лиц. Сложности, возникающие при назначении взрывотехнической экспертизы, можно устранить путем консультации с экспертами по формулировке постановочных вопросов и подготовке объектов, подлежащих экспертному исследованию.

Существование подобной практики позволяет поставить вопрос о возможности участия экспертов в осмотре места происшествия с дальнейшим поручением им же производства соответствующей экспертизы. Эксперт, лично участвуя в осмотре, получает более обширную информацию о произошедшем преступлении, чем он может почерпнуть из протокола осмотра. Это обстоятельство позволит ему в последующем, при проведении экспертизы, полнее ответить на поставленные вопросы.

Список используемых источников

1. Коновалов С.И., Полтавцева Л.И. Осмотр мест происшествий, связанных с преступлениями, совершенными с применением взрывчатых веществ и взрывных устройств. – Ростов-на-Дону, 1998. – С. 12.
2. Моторный И.Д. Криминалистическая взрывотехника: новое учение в криминалистике. – М., 2000. – С. 72.
3. Дворкин А.П., Бертовский Л.В. Методика расследования убийств, совершенных с применением взрывных устройств. – М., 2001. – С. 32–33.
4. Ларин А.М. Расследование убийств, совершенных с применением взрывчатых веществ. – М., 1975. – С. 35.
5. Пособие для следователя: расследование преступлений повышенной общественной опасности / под ред. Н.А. Селиванова и А.М. Дворкина. – М., 1998. – С. 102.
6. Варченко И.А. Криминалистическая характеристика и первоначальный этап расследования преступлений, связанных с применением взрывчатых веществ и взрывных устройств: дисс. на соиск. ученой ст. канд. юридических наук. – Волгоград: Академ. МВД России, 2002. – С. 50.
7. Зинин А.М., Омелянюк Г.Г., Пахомов А.В. Введение в судебную экспертизу. – М.: МПСИ; Воронеж: Модэк, 2002. – С. 108.

А.В. Лосик,
доктор исторических наук, профессор;
Л.В. Розанова;
А.Н. Щерба,
доктор исторических наук, профессор

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И КОНСТРУКТОРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ АРТИЛЛЕРИИ, ИНЖЕНЕРНОГО ДЕЛА И РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И ВЫПУСКНИКОВ 2-ГО КАДЕТСКОГО КОРПУСА В XVIII-XIX ВЕКАХ

Анализируется военная, инженерная и научно-конструкторская деятельность преподавателей и выпускников 2-го Кадетского корпуса. Показан их вклад в укрепление обороноспособности России. Даны сведения о работах, выполненных в области создания, совершенствования артиллерийского вооружения и ракетостроении.

Ключевые слова: артиллерия, Инженерная школа, Артиллерийский и инженерный шляхетный кадетский корпус, 2-й Кадетский корпус, боевая ракета.

В течение XV–XVII веков армии крупнейших европейских государств интенсивно насыщались артиллерией. По своему назначению она делилась на полевую, осадную и крепостную. Например, в первой половине XVII века в самой передовой армии Европы – армии шведского короля Густава-Адольфа насчитывалось от 5 до 12 артиллерийских орудий на 1000 солдат [1].

В первой половине XVIII века на вооружении русской армии стояли артиллерийские орудия различных калибров. Так, например, полевая артиллерия имела пушки калибром в три, шесть, восемь и двенадцать фунтов, пудовые и полупудовые гаубицы и двухпудовые мортиры, а в русском артиллерийском полку по штатам полагалось иметь 69 орудий [2].

Чтобы обеспечить необходимое качество артиллерии и не допустить военного превосходства вероятного противника, нужно было постоянно совершенствовать артиллерийское вооружение. Работы в России велись по нескольким направлениям: совершенствование формы артиллерийских орудий; улучшение качества металла, из которого отливали пушки; разработка новых боеприпасов и порохов. С XVIII века к этой работе начали привлекать специалистов из учебного заведения, готовившего офицеров-артиллеристов для русской армии – Артиллерийского и инженерного шляхетного корпуса, ставшего затем 2-м Кадетским корпусом. Именно это учебное заведение, исторические корни которого восходят к Инженерной школе, созданной Петром I еще в 1712 году, явилось историческим предшественником нашей Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского [3].

Учитывая тот факт, что отмеченная выше Инженерная школа неоднократно переименовывалась, то она и другие ее названия в дальнейшем тексте объединены словом «Корпус».

Упомянутое выше привлечение сотрудников и выпускников Корпуса к совершенствованию артиллерийского вооружения в исследуемый период во многом было связано с тем обстоятельством, что в Корпусе всегда работал высококвалифицированный преподавательский состав, а сама организация учебы была нацелена не только на овладение теорией артиллерийских наук, но и ориентировалась на практическое освоение артиллерийской техники.

Назовем имена некоторых руководителей, преподавателей и выпускников Корпуса, внесших вклад в развитие образовательного процесса подготовки будущих артиллеристов и непосредственно участвовавших в создании и совершенствовании артиллерийской и ракетной техники.

Первым директором Корпуса был Михаил Иванович Мордвинов (1730–1782). Он возглавлял сначала Соединенную Артиллерийскую и инженерную школу (1758–1764), затем Артиллерийский и Инженерный шляхетный кадетский корпус (1771–1782). М.И. Мордвинов был военным инженером, руководил строительными работами Мраморного (1768) и Чесменского (1776) дворцов в Петербурге [4]. В период его руководства Корпусом начали складываться основные педагогические принципы учебно-воспитательной и научной работы, превратившие Корпус в одно из ведущих военно-учебных заведений России.

В соответствии со штатом 1762 года в Корпусе предусматривалось преподавание фортификации и гражданской архитектуры (капитан И.Р. Картмазов); артиллерии и фейерверочного искусства (капитан И.А. Вельяшев-Волынцев); механики и гидравлики (капитан Я.П. Козельский); геометрии (штык-юнкер Н.В. Верещагин) и др. [5]. Одновременно с чтением курсов преподаватели создавали учебную литературу: И.Р. Картмазов опубликовал учебник по инженерной науке (1765), И.А. Вельяшев-Волынцев написал пособие «Артиллерийские предложения для юношества Артиллерийского и Инженерного кадетского корпуса» (1767), Я.П. Козельский стал автором пособий «Арифметические предложения» и «Механические предложения» (1764) [4].

В 1783–1797 годах Корпус возглавлял Петр Иванович Мелиссино (1726–1797). Он имел богатый боевой опыт, командовал артиллерией в Русско-турецкой войне (1768–1774) в войсках фельдмаршала П.А. Румянцева. Став директором корпуса, он разработал проект, направленный на улучшение качества подготовки кадетов за счет повышения уровня преподавания и усиления контроля за качеством знаний, для чего ввел обязательный экзамен, который кадеты должны были сдавать три раза в год [4]. Предпринимаемые в России в этот период меры по улучшению состояния артиллерии коснулись и системы образования, где делались в то время определенные шаги, призванные улучшить ее качество. В частности, в 1784 году Екатерина II позволила директору Корпуса нанять или купить соседние с Корпусом частные дома на сумму, оставшуюся из-за неполного комплекта кадетов, а в следующем году на эти нужды пожаловала еще 9 тыс. 263 рубля. В 1787 году Екатерина II повелела отпускать Корпусу ежегодно дополнительно к установленной сумме еще 10 тыс. 380 рублей. Выделенные средства позволили П.И. Мелиссино увеличить библиотеку Корпуса, купить современные физические инструменты, устроить артиллерийскую лабораторию, где впоследствии проводились практические упражнения и опыты по улучшению различных образцов отечественной артиллерии [6].

Михаил Илларионович Кутузов (1747–1813), окончивший в 1761 году Корпус с присвоением звания инженера-прапорщика, показал при обучении блестящие способности и был оставлен в школе как преподаватель арифметики и геометрии [7]. Кроме того, он владел французским, немецким, английским, шведским, польским и турецким языками. Получив во время военных действий в 1774 году тяжелое ранение М.И. Кутузов был направлен для лечения за границу. Все два года лечения он усердно занимался военной наукой, изучая новшества тактики боевого применения войск и новые образцы вооружения других стран. Ему удалось встретиться с первой военной знаменитостью того времени – Фридрихом Великим и с известным австрийским фельдмаршалом Эрнстом Гидеон фон Лаудоном. На основе анализа западноевропейского опыта М.И. Кутузов выдвинул идею создания конных пионеров (саперов), которых он предлагал придавать передовым отрядам кавалерии, чтобы *«удобно было бы обращать впереди армии для исправления дорог без утомления людей»* [8]. Полученные знания и опыт М.И. Кутузов реализовал на посту директора Сухопутного кадетского корпуса в Петербурге. Организуя учебный процесс, он сделал преподавателя центральной фигурой в процессе обучения и воспитания. Кутузов говорил: *«Без толковых учителей, совершенного офицера никогда произвести не можно»* [4]. М.И. Кутузов ввел в корпусе изучение тактики и лично преподавал кадетам этот предмет, а также военную историю [7].

Семён Емельянович Гурьев (1766–1813) – выпускник Корпуса в звании штык-юнкера (в 1784 году), работал профессором и инспектором классов в различных учебных заведениях.

В 1798 году стал академиком Петербургской Академии наук. Уделяя много внимания методике и методологии математики, он стал автором трудов по геометрии, математическому анализу, механике: «Опыт об усовершенствовании элементов геометрии» (1798); «Основания трансцендентной геометрии кривых поверхностей» (1806); «Основания геометрии» (1804); «Наука исчисления» (1805); «Основания дифференциального исчисления, с приложением одного к аналитике» (1811); «Основания механики» (1812) [9].

Известным военным педагогом и одним из родоначальников отечественной военно-педагогической науки стал выпускник Корпуса Карл Федорович Клингенберг (1788). После окончания Корпуса он был оставлен в качестве воспитателя. Впоследствии генерал-лейтенант К.Ф. Клингенберг стал директором Павловского кадетского корпуса, а затем директором Александровского кадетского корпуса. В 1835 году он был назначен Главным директором кадетских корпусов России [7].

Окончивший Корпус в 1796 году Василий Иванович Висковатов (1779–1812) стал крупным специалистом в области математического анализа и вариационного исчисления. В 1803 году получил звание академика Петербургской академии наук и являлся последователем академика С.Г. Гурьева в области точных наук. В.И. Висковатов перевел и издал «Основы механики» известного французского математика Ш. Боссю и выпустил новое издание алгебры Л. Эйлера [4].

В 1801 году в Корпусе начал работать подполковник Андрей Иванович Маркевич (1762–1832). Кроме преподавательской работы он в то же время занимался научными исследованиями. Ему принадлежат труды: «Чертежи всех употребляемых в полевой артиллерии орудий» (1806), «Подробное описание артиллерийских оковок», «Новый вернейший способ ставить диоптры и мушки на артиллерийских орудиях», «Руководство к артиллерийскому искусству» (1820), которые служили учебными пособиями при подготовке офицеров-артиллеристов [7]. С 1810 года он преподавал великим князьям Николаю Павловичу (будущему императору Николаю I) и Михаилу Павловичу, что подтверждает его высокий преподавательский и научный уровень [7].

С 1816 года А.И. Маркевич занимал должность директора Корпуса. При нем была улучшена лабораторная база, использовавшаяся для практической отработки навыков у обучающихся и понимания ими основ боевого применения артиллерии. В частности, были изготовлены две пороховые мельницы, машина для просверливания и обработки стволов артиллерийских орудий, а также машина для оттачивания шипов у пушек [10]. В 1823 году А.И. Маркевич был назначен председателем комитета для рассмотрения всех учебных книг, употреблявшихся в Пажеском и кадетских корпусах, и для составления новых учебников и учебных пособий, а в 1825 году назначен присутствовать в артиллерийском отделении Военно-ученого комитета для исследования средств к усовершенствованию русской полевой артиллерии.

Выдающимся ученым в области развития артиллерии был выпускник Корпуса Егор Христианович Вессель (1815). После окончания Корпуса он работал преподавателем артиллерии Офицерских классов Артиллерийского училища (1827–1832) и заново переработал программы обучения, а также поставил здесь курс по специальности «Артиллерия». Ему принадлежит нововведение в методику обучения, когда будущие артиллерийские офицеры в период лагерного сбора в обязательном порядке должны были участвовать в учебных стрельбах из артиллерийских орудий [7]. С 1832 по 1836 год Е.Х. Вессель работал профессором артиллерии Михайловской артиллерийской академии, где активно занимался научной работой. Им написаны труды: «Записки об артиллерийском искусстве» и «Курс артиллерии для военно-учебных заведений», которые долгое время считались классическими учебными пособиями для обучения артиллеристов. За свой научный труд Е.Х. Вессель был удостоен ученого звания профессора артиллерийских наук. Его знания и опыт были использованы и для улучшения технического уровня производства на русских военных заводах. В 1852 году он был назначен инспектором оружейных заводов. При этом он не только занимался улуч-

шением состояния отечественного оружейного производства в техническом отношении, но и заботился об улучшении условий работы и быта рабочих и их детей. Для этого по его ходатайству на военных заводах были учреждены школы [7].

В 60-е годы XIX века в России началось реформирование системы военного образования, смысл которого сводился к сохранению специальных военных школ, военных академий и кадетских корпусов при существенном изменении их характера. Все военно-учебные заведения передавались в ведение Военного министерства, в составе которого было образовано Главное управление военно-учебных заведений. При этом Корпус превратился в своеобразную педагогическую лабораторию, где отрабатывались принципиальные вопросы военной реформы в области военного образования. Руководство Корпусом, в этот период (1863–1866), осуществлял полковник Григорий Григорьевич Данилович (1825–1906), впоследствии ставший воспитателем великого князя Николая Александровича (будущего императора Николая II) [2]. Стараниями педагогического коллектива Корпуса и его директора в короткий срок были разработаны основные принципы внутренней организации учебного процесса. В Корпусе были упразднены все роты, а воспитанников общих классов разделили на возрастные группы по 25–30 человек в каждой. С 1864 года по примеру Корпуса начались преобразования во всех кадетских корпусах России. В 1863 году в Корпусе была создана Центральная педагогическая библиотека и Педагогический музей, сыгравшие важную роль в деле улучшения качества подготовки преподавательского состава. Уже в первый год своего существования в библиотеку поступило до 3 тыс сочинений исключительно педагогического характера на русском, немецком и французском языках [11]. В музее были собраны приборы, применяемые при изучении математики, физики, химии, географии, рисования и других предметов, преподаваемых в Военных гимназиях. Кроме того, здесь были представлены образцы учебного оборудования. В 1866 году в Музее была устроена первая выставка учебных пособий и представлен печатный каталог, в котором указывалось место издания, цена и место продажи учебных пособий. Теперь, используя возможности Центральной педагогической библиотеки и Педагогического музея, педагоги Корпуса и других военно-учебных заведений имели возможность более качественно готовиться к учебным занятиям.

Выдающимся военным педагогом России был выпускник Корпуса 1846 года Матвей Степанович Лалаев (1828–1912). Свою военную карьеру он начал в должности репетитора артиллерии в корпусе и одновременно исполнял должность библиотекаря. Затем работал воспитателем и с этой должности был назначен в Главное управление военно-учебных заведений. М.С. Лалаев стал автором проекта Положения для преподавателей специальных школ артиллерийского ведомства, военных школ и прогимназий. Авторству М.С. Лалаева принадлежит и «Инструкция по воспитательной части» для военно-учебных заведений России. Генералом М.С. Лалаевым написан фундаментальный труд «Исторический очерк военно-учебных заведений, подведомственных Главному их управлению», а также ряд научных статей историко-педагогического характера, опубликованных в журнале «Педагогический сборник» [7].

Выпускник Корпуса 1862 года Михаил Александрович Газенкампф в 1870 году с отличием окончил академию Генерального штаба и был приглашен для чтения лекций в академию. В 1873 году он был назначен адъюнкт-профессором по кафедре военной администрации и уже в следующем году получил звание профессора. Во время Русско-турецкой войны (1877–1878) М.А. Газенкампф был назначен заведовать всеми корреспондентами и делами печати при Главной квартире русской армии. Позднее все события этой войны он отразил в историческом труде «Мой дневник», значительная часть которого была опубликована отдельным изданием в 1908 году и в «Вестнике Европы». В 1880 году М.А. Газенкампф издал фундаментальный труд «Военное хозяйство в нашей и иностранных армиях», за что был удостоен Высочайшего подарка. В 1911 году М.А. Газенкампф издал труд «Военное хозяйство – курс старших классов Николаевской академии Генерального штаба» и несколько сборников дополнений к нему. Его же перу принадлежит «Задачник по военной администра-

ции для практических занятий в военных и юнкерских училищах», а также научное исследование «Устройство Генерального штаба в первостепенных европейских армиях». Кроме того, М.А. Газенкамф был назначен членом Совета государственной обороны и Высшей аттестационной комиссии [7].

Нельзя не отметить Николая Петровича Жерве. Он окончил 1-й Кадетский корпус и Михайловское артиллерийское училище и был переведен в 1907 году в Корпус на должность офицера-воспитателя. Специально к 200-летию Корпуса, Н.П. Жерве в соавторстве с приват-доцентом В.Н. Строевым был написан «Исторический очерк 2-го Кадетского корпуса 1712–1912». Кроме того, Н.П. Жерве был в составе редакционной коллегии фундаментального труда – многотомной «Военной энциклопедии», которая начала издаваться с 1911 года и стала последним энциклопедическим изданием Российской империи [7].

Как известно, для повышения долговечности артиллерийских орудий большое значение имеет качество металла, используемого для пушек. В России первые попытки вывести оптимальный состав пушечного металла относятся к временам правления Петра I, когда было написано специальное Наставление, которое приписывается самому Императору. В этом документе впервые указывалась пропорция для пушечного металла: 100 частей меди и 12 частей олова (т. е. 10,71%). Однако состав для литья пушек постоянно менялся. Например, академиком И.Г. Георги упоминаются следующие пропорции: «Здесьняя пушечная медь состоит из 40 частей красной меди, 2 частей олова и 2 частей цинка» [6]. Таким образом, в конце XVIII века в русской артиллерии не существовало четко установленного состава пушечного металла. Пушки отливали различные мастера исходя из своего практического опыта, что негативно сказывалось на качестве орудий и общем состоянии русской артиллерии.

В 1790 году в Корпусе под руководством П.И. Мелиссино приступили к организации исследовательских работ по поиску оптимального состава сплава для отливки артиллерийских орудий. Спустя четыре года напряженной работы была принята пропорция для отливки артиллерийских орудий: 90% – красной меди и 10% олова. Отлитые из этого сплава 2 пушки 18 фунтового калибра выдержали испытания в 2 тысячи 200 выстрелов. После этого на ведомственном отечественном предприятии по производству артиллерии – заводе «Арсенал» установили состав пушечного сплава: меди – 91%, олова – 9%. Однако эксперименты мастеров над пушечными сплавами продолжались до 1803 года. В результате этих исследований окончательно закрепили составы сплавов для каждого вида артиллерийского орудия. Их неукоснительно должны были соблюдать при изготовлении на любом из заводов Российской империи [6].

На протяжении длительного времени другой технической проблемой была технология заделывания раковин в каналах ствола артиллерийских орудий. В основном их заделывали медными гвоздями, которые плохо держались при производстве выстрела. В Корпусе изобрели новую технологию заделывания раковин артиллерийских орудий – раковины стали заделывать способом завинчивания. Новую технологию было поручено реализовать на практике Ф.И. Апрелеву, который изготовил для этого специальный станок. Способ заделки раковин считался государственной тайной [12]. В дальнейшем этот станок начал широко применяться в промышленном производстве. В 1792 году он был установлен на заводе «Арсенал» в Петербурге и позволил более быстро и качественно исправлять раковины в стволах артиллерийских орудий. В том же году П.И. Мелиссино отправил наследнику престола, великому князю Павлу Петровичу, в качестве подарка модель станка собственного изобретения «...на зачинку в пушках и протчих орудиях раковин...». Ввиду больших размеров станка его перевозка в Гатчину представлялась весьма затруднительной, поэтому П.И. Мелиссино ходатайствовал через графа Г.Г. Кушелева о том, чтобы «...те пушки, в коих раковины имеются, прислать ко мне. Оне немедленно зачинены и обратно отправлены будут» [13].

Специалисты Корпуса занимались не только исследованиями и конструированием, но и активно реализовывали свои новшества непосредственно на производстве. В 1792 году в Петербурге на Арсенале «под смотрением» выпускника Корпуса Ф.И. Апрелева были от-

литы шесть 6-фунтовых пушек по чертежам П.И. Мелиссино, лафеты и принадлежности к ним и 6 медных 1-фунтовых пушек вместе со всеми принадлежностями к ним [13].

Известно, что цесаревич Павел Петрович уделял большое внимание артиллерии. В Гатчине он создал свою артиллерию, которую стремился сделать самой лучшей в Российской империи, для чего обращался к помощи специалистов Корпуса. В июле 1792 года Павел Петрович обратился к П.И. Мелиссино об изготовлении новых лафетов с принадлежностями. П.И. Мелиссино в своем рапорте на имя президента Военной коллегии графа Н.И. Салтыкова докладывал: *«Для исправления под некоторые пушки лафет и протчей принадлежности, состоящей у Его Императорского Высочества Государя Цесаревича и Великого Князя, по силе повеления Вашего Сиятельства послан от меня к господину адмиралу и кавалеру Ивану Логиновичу Голенищеву-Кутузову Санкт-Петербургскаго арсенала над мастеровыми капитан Федор Апрелев, коему и быть при том исправлении до окончания велено. Шестифунтовых же пушек в Санкт-Петербургском арсенале готовых состоит 27, из коих об отпуске с принадлежностями для Его Императорского Высочества шести орудей испрашиваю резолюции»*. Рапорт П.И. Мелиссино с положительной резолюцией Н.И. Салтыкова 3 июля 1792 года был направлен в Канцелярию главной артиллерии и фортификации. В резолюции сообщалось, что Ф.И. Апрелеву следовало *«...получа от господина флота генерала цейхмейстера и кавалера Лемана два пушечных в настоящую величину чертежа... сделать 3-х фунтовых восемь, а одного фунта четыре, всего 12 лафет...»* [13].

2 августа 1792 года Ф. И. Апрелевым был направлен рапорт на имя П.И. Мелиссино, где сообщалось о том, что данная работа выполнена. Согласно прилагаемой ведомости 12 лафетов были изготовлены *«... с передками, задними и передними колесами, вальками и вагами, с подъемными клиньями, при коих винты с медными гайками, с правильными гандшпигами, и на передках по одному малому ящику, под зеленой краской»*, а также *«12 ящиков картузных с колесы, вальки и ваги <...>, и принадлежность: щетинные и овчинные банники с прибойниками, скорострельные цепи, трещотки, пыжевники, пальники, зарядные сумы, ночники, пороховые мерки»*. В Гатчину для использования на учениях все это было доставлено уже 4 августа 1792 года [14].

Впоследствии, перед Отечественной войной 1812 года, под руководством Ф.И. Апрелева были значительно усовершенствованы и артиллерийские боеприпасы. На вооружение русской полевой артиллерии была принята картечь в жестяных «стаканах» с железными поддонами и чугунными пулями вместо свинцовых. Последние обозначались 9-ми номерами и отличались диаметром и весом. Принятие на вооружение насыпной чугунной картечи в жестяной оболочке с чугунным поддоном позволило вдвое увеличить дальность стрельбы [15]. Это было огромное достижение, позволившее успешно противостоять артиллерии армии Наполеона, самой мощной и современной в Европе.

Специалисты Корпуса привлекались также для решения технических проблем, возникавших в войсках. В 1811 году, во время военных маневров под городом Смоленском, произошел самопроизвольный выстрел артиллерийского орудия. Об этом случае было доложено императору Александру I, который поручил расследовать происшествие и установить его причины инспектору всей артиллерии русской армии генералу А.А. Аракчееву [16]. К этой работе А.А. Аракчеев привлек специалистов из Корпуса, которые установили, что в закруглении задней части артиллерийского орудия, которое имело подобие мешка, остаются искры от зарядного картуза. Из-за закругления они не всегда извлекаются банником. После очередного выстрела эти тлеющие остатки способны привести к самопроизвольному возгоранию пороха и выстрелу. Кроме того, во время испытаний был установлен факт для конструкторов артиллерии: при прямом, а не косом положении затравки откат артиллерийского орудия, разрушающего лафет, уменьшается, а дальность стрельбы увеличивается. А.А. Аракчеев доложил о результатах расследования императору Александру I, который утвердил выводы доклада. После этого при участии специалистов Корпуса были разработаны новые чертежи

артиллерийских орудий, которые были отправлены на оружейные предприятия и в Корпус для использования в учебном процессе [16].

А.А. Аракчеев сам много работал над улучшением технической части артиллерии. По его инициативе были введены одинаковые зарядные ящики для всех орудий вместо зарядных фур, что привело к сокращению громоздкого фурштадта, и диоптр Маркевича, а также введены точные указания всех размеров на орудиях и лафетах [7]. В рамках преобразований, проводимых под руководством А.А. Аракчеева, продолжались исследования по поиску оптимального состава пушечного металла. В результате практических испытаний была установлена следующая примерная пропорция: 100 частей меди и 12 частей олова. Артиллерийские орудия начали делать из орудийной бронзы – сплава, состоящего из 90–92% меди с 8–10% олова. Благодаря своей вязкости бронза предохраняла пушку от разрыва и давала возможность в случае необходимости легко перелить артиллерийское орудие. Это позволило существенно улучшить качество пушек и срок их службы [7]. Особо отметим, что А.А. Аракчеев (1769–1834), окончивший Корпус в 1787 году, благодаря своим способностям отличился не только в области артиллерии, являясь инспектором всей артиллерии России (1803–1807), но прежде всего на государственной службе, став военным министром России (1808–1810) в эпоху императора Александра I.

В 1767 году в Корпус для обучения был определен сын И.Р. Картмазова – Алексей, окончивший его в 1772 году. Впоследствии Алексей Иванович по заданию Военно-ученого комитета занимался исследованиями перспективных областей развития вооружения: боевых и зажигательных ракет, анализом ракетного пороха и разработкой новых образцов ракетной техники для русской армии [17]. Когда стало известно о боевых ракетах, изобретенных англичанином Уильямом Конгривом в 1805 году, в России были ускорены исследования в этой области. В Санкт-Петербургской пиротехнической лаборатории началось изучение пороха, применявшегося в английских ракетах. Для проведения этих исследований Военно-ученый комитет пригласил выпускника Корпуса А.И. Картмазова как наиболее компетентного и квалифицированного специалиста в области ракетной техники. А.И. Картмазову в 1811 году были переданы для исследования несколько английских ракет У. Конгрива, полученных Военно-ученым комитетом непосредственно от Александра I, которому они достались в подарок от наследника английского престола Георга IV. В результате своих исследований в 1814 году А.И. Картмазов изготовил в лаборатории несколько образцов ракет двух типов – гранатные и зажигательные, последние имели калибр 91,44 мм и дальность 2 тысячи 690 м [18].

К началу XIX века не удалось создать теорию взрывчатых составов, а также теорию конструирования боевых ракет и их полета. Эту работу начал выпускник Корпуса 1797 года – Александр Дмитриевич Засядко, который на собственные средства создал научную лабораторию и на её базе начал исследовательские работы по конструированию боевых ракет. Ему удалось решить задачу по преобразованию осветительной ракеты в фугасную и зажигательную, а также разработать тактику их боевого применения [19]. В 1817 году он самостоятельно разработал и создал конструкции боевых ракет и более совершенных пусковых станков, которые были приняты на вооружение русской армии в 1818 году. Кроме того, А.Д. Засядко возглавил Петербургскую пиротехническую лабораторию, Охтинский пороховой завод и, таким образом, объединил под своим началом лучшие научно-технические и производственные кадры. В его распоряжении оказалась также и наиболее современная производственная база. Опираясь на этот потенциал, А.Д. Засядко развернул целенаправленные опыты над различными образцами ракет, которые были еще далеки от совершенства [20]. Однако в плановые работы вмешались непредвиденные обстоятельства. В апреле 1822 года во время пожара в одном из соседних жилых домов огонь перебросился на склады боеприпасов Лаборатории. Возникла опасность их взрыва, что могло повлечь человеческие жертвы. С большим трудом этого удалось избежать. Император Александр I стал очевидцем пожара и приказал А.Д. Засядко перенести Лабораторию в более безопасное место вдали от

города. Новое место было избрано вверх по Неве против Александровской мануфактуры на Волковом поле. Этот переезд существенно снизил темпы работ, но одновременно дал возможность существенно расширить и обновить производственные мощности и, что немало важно, свободно проводить испытания ракет [20]. В 1826 году на базе Лаборатории были развернуты научно-конструкторские и производственные мощности первого в России промышленного предприятия – Петербургского ракетного заведения. Его создателем и первым руководителем стал генерал-лейтенант А.Д. Засядко.

Вместе с А.Д. Засядко стоял у истоков отечественного ракетостроения выдающийся русский артиллерист, выпускник Корпуса 1796 года Петр Андреевич Козен. В 1828 году П.А. Козен был назначен инспектором местных арсеналов. Работая на этом посту, он много сил вложил в развитие Охтинского порохового завода и Петербургской пиротехнической лаборатории, где проводились исследования и испытания пороховой массы для снаряжения первых русских боевых ракет [7]. Стараниями П.А. Козена в 1832 году на Охтинском пороховом заводе была открыта Школа для мастеров и подмастерьев порохового, селитренного и серного дела. Лучшие выпускники этой школы направлялись для работы в лабораторные роты и в Петербургское ракетное заведение. В 1839 году по его инициативе в Пороховой школе Охтинского порохового завода было открыто заведение для подготовки в нем мастеров лабораторного дела. Благодаря этому П.А. Козен добился коренного улучшения технологии производства боевых ракет. За большой вклад в развитие отечественного ракетостроения Петр Андреевич Козен в 1844 году был награжден орденом Белого Орла, а 17 марта 1845 года произведен в генералы от артиллерии [17].

В 1817 году в распоряжение А.Д. Засядко «для приготовления боевых и зажигательных веществ» был откомандирован выпускник Корпуса 1807 года) Василий Михайлович Внуков. В его обязанности входило приобретение материалов, изготовление необходимого оборудования и непосредственная организация производства ракет [17]. В 1834 году В.М. Внуков возглавил Петербургское ракетное заведение. Боевые действия в период Русско-турецкой войны (1828–1829) показали, что в деятельность Ракетного заведения необходимо внести ряд изменений. В первую очередь требовалось переоборудовать производственную и экспериментальную базу более совершенным оборудованием и расширить объем опытных работ. В.М. Внуков решил поставить работу Ракетного заведения на надежную правовую основу. Несколько лет он работал над созданием «Положения для ракетного заведения», которое было закончено в 1838 году. Фактически оно узаконило реально существующую структуру Ракетного заведения, которое состояло из Лаборатории и Ракетной батареи, сформированной еще в 1831 году на базе первой ракетной роты [17]. В 1848 году В.М. Внуков добился доставки из Франции нового оборудования для производства ракет, что позволило увеличить их выпуск сразу в 4 раза. Ракетное заведение освоило также производство еще одного вида ракет – зажигательных ракет-пуль, конструкция которых была разработана лично В.М. Внуковым. Эти мини-ракеты предназначались для новых нарезных ружей. Ракеты Внукова имели хорошую зажигательную способность и были приняты на вооружение для снайперов стрелковых батальонов, оснащенных штуцерами [19]. Кроме того, его исследования позволили оптимизировать рецептуру порохового состава, применяемого в боевых ракетах [17]. Для повышения научного уровня проводимых исследований В.М. Внуков старался привлекать профессиональных офицеров-артиллеристов из Корпуса. Он лично сконструировал машины для изготовления железных ракетных гильз, станки для высверливания каналов в пороховом составе, а также ввел прессы для снаряжения ракет [17].

Выпускник Дворянского полка (Корпуса) Иван Федорович Костырко (1801–1860) много сделал для совершенствования отечественной артиллерии и ракетной техники. Его всесторонние знания и подготовка выдвинули его в число ведущих специалистов в области артиллерии. В 1830-е годы он служил ученым секретарем артиллерийского отделения Военно-ученого комитета. На его долю выпала очень непростая задача разработать и изготовить ракеты и ракетные станки для морской обороны. С этой целью под руководством И.Ф. Ко-

стырко были разработаны чертежи и конструкция специального ракетного станка, который отличался большими размерами. Направляющая труба станка была более 6 метров, для ее подъема использовалась станина со специальным подъемным механизмом [19]. В 1833 году И.Ф. Костырко был переведен в Санкт-Петербург, где стал командиром Ракетного заведения, в котором числилось всего 30 рабочих. Приняв должность, он приложил много усилий для расширения и усовершенствования ракетного производства. Будучи членом Ученого комитета, он решил подойти к этой проблеме с научных позиций. В 1847 году он изложил в форме устава «Руководство по изготовлению ракет» [21]. Появление этого документа позволило заметно улучшить организацию и технологию производства ракет. Летом 1848 года в Ракетном заведении были изготовлены опытные 2,5- и 3,5-дюймовые ракеты, а также специальный ракетный станок. Испытания состоялись 19 августа 1848 года и были успешными. После их проведения в Ракетном заведении были изготовлены 22 ракетных станка, которые установили в одном из морских фортов для залпового огня по вражеским военным кораблям. Таким образом, ракетное оружие поступило на вооружение русских морских крепостей [19]. Значительное внимание И.Ф. Костырко уделял вопросам разработки теории и практики применения ракет, в частности, способам применения ракет при обороне горных кавказских укреплений. Пуск ракет в горных условиях осуществлялся посредством дощатых труб, заложенных в бруствере укреплений. Специально для этого им была устроена ракетная лаборатория в городе Георгиевке. После этого генерал-майор И.Ф. Костырко стал признанным авторитетом в русской армии в области развития ракетной техники и был назначен помощником начальника артиллерийских гарнизонов Кавказского округа [17].

Всё вышеизложенное свидетельствует о том, что в Артиллерийском и инженерном шляхетном кадетском корпусе, а затем его историческом преемнике 2-ом Кадетском корпусе не только осуществлялась подготовка высококвалифицированных специалистов для российской армии, но также проводились исследования по совершенствованию отечественной артиллерии и созданию отечественной ракетной техники.

Список используемых источников

1. *Прочко И.С.* История развития артиллерии. – СПб.: Изд-во Полигон, 1994. – С. 64.
2. 300 лет военной истории Санкт-Петербурга / под. общ. ред. В.С. Бобрышева. – СПб.: Славия, 2003.
3. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 22.09.1994 г. № 311. – URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=10880966@egNews (дата обращения: 15.01.2018).
4. *Крылов В.М.* Кадетские корпуса и российские кадеты. – СПб.: Изд-во ВИМАИВ и ВС, 1998.
5. Архив Военно-исторического музея артиллерии инженерных войск и войск связи (ВИМАИВ и ВС). – Ф. 2. – Оп. ШГФ. – Д. 1596. – Л. 25–43.
6. *Георги И.Г.* Описание российско-императорского столичного города Санкт-Петербурга и достопримечательностей в окрестностях оного, с планом 1794–1796. – СПб.: Изд-во Сухопутного шляхетного корпуса, 1794. – 757 с.
7. Военная энциклопедия: в 18 т. / под ред. В.Ф. Новицкого. – СПб.: Изд-во И.Д. Сытина, 1911–1915.
8. *Бантыш-Каменский Д.* Биографии российских генералиссимусов и генерал-фельдмаршалов. – СПб.: Тип. 3-го департ. Министерства госимущества, 1840. – Ч. 3. – С. 31.
9. *Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А.* Энциклопедический словарь. – СПб.: Тип. И.А. Ефрона, 1903. – С. 920.
10. Отечественные записки. – 1820. – № 3. – С. 148.

11. *Лалаев М.С.* Исторический очерк военно-учебных заведений, подведомственных Главному их управлению. – СПб.: Изд. Стасюлевича, 1880–1882. – Ч. 1. – С. 117.
12. *Ратч В.Ф.* Сведения о графе Алексее Андреевиче Аракчееве по 1798 год. – СПб., 1864. – С. 83.
13. *Юркевич Е.И.* Артиллерия Гатчинских войск Великого князя Павла // Сборник исследований и материалов Военно-Исторического музея Артиллерии, инженерных войск и войск связи. – 2006. – Вып. VIII.
14. *Ратч В. Ф.* Сведения об артиллерии Гатчинских войск. – СПб., 1851. – С. 23.
15. *Юркевич Е.И.* Совершенствование русской полевой артиллерии в конце XVIII – начале XIX века // Военно-исторический журнал. – 2011. – № 10. – С. 45.
16. Полное собрание законов Российской империи с 1649 года. – СПб.: Тип. 2-го Собств. Его императорского величества канцелярии, 1830. – Т. 32: 1812–1815. – С. 367–368.
17. *Качур П.И.* Ракетчики Российской империи. – М.: РТСофт, 2008.
18. *Сокольский В.Н.* Ракеты на твердом топливе. – М.: АН СССР, 1963. – С. 27.
19. *Сонкин М.* Русская ракетная техника. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1952.
20. Артиллерийский журнал. – 1857. – № 3. – С. 60.
21. *Мазинг Г.Ю., Качур П.И.* Константин Иванович Константинов: 1818–1871. – М.: Наука, 1995. – С. 87.

В.П. Огородников,
доктор философских наук, профессор

ЭКОНОМИКО-ПОЛИТИЧЕСКИЕ И ИДЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ СОВРЕМЕННОЙ ВОЙНЫ

В публикации рассматриваются причины, условия и другие факторы, детерминирующие угрозу возникновения современной войны. Анализируются различные концептуальные схемы устранения данной угрозы. В этом контексте подвергается критическому анализу теория постиндустриального, информационного общества. Показывается, что данная концепция основана на идее технологического детерминизма. Технологический детерминизм главным и практически единственным детерминантом социального развития видит развитие техники и технологии производства материальных благ. Автор доказывает, что в реальной истории общества технический и даже научно-технический прогресс никогда автоматически не давал прогресс социальный, не гарантировал социального равенства и не оберегал народы от войн. Напротив, техническое развитие, оторванное от развития производственных отношений, постоянно приводило и приводит к усугублению всех политических и социальных конфликтов, милитаризации общества и военному противостоянию.

Ключевые слова: война, мир, социальное равенство, социальные противоречия, техника и социальные революции, производительные силы, производственные отношения, социальная справедливость и равенство, технологический детерминизм.

Среди глобальных проблем современности на первое место справедливо ставится угроза новой мировой войны. Действительно, ничто в большей степени не угрожает самому существованию человечества, и ничто не требует немедленных и консолидированных решений большинства развитых стран мира. Что же является причиной возникновения этой угрозы, что мешает ее устранению и каковы реальные пути ее ликвидации?

Нельзя провести научный анализ никакого процесса, не раскрыв его сущность. Проблема сущности, глубинных причин, оснований и условий возникновения войны является философской. На протяжении столетий лучшие умы человечества пытались найти решение этой проблематики. Не предпринимая глубокий историко-философский экскурс, дадим наиболее значительные для сегодняшнего исследования определения сущности войны.

Отвергая идею «вечной войны», выдающийся французский просветитель Жан-Жак Руссо (1712–1778) утверждал, что войны появились вместе с возникновением частной собственности на средства производства. Поэтому война ведется не между племенами, у которых частной собственности нет, а между государствами [1]. По сути это было предвосхищение материалистического понимания истории, развернутого уже в XIX веке К. Марксом и Ф. Энгельсом.

Выдающийся диалектик Нового времени Г. Гегель попытался применить сформулированные им законы диалектики к раскрытию сущности войны. Справедливо указав, что причиной войн, как и причиной всякого процесса, является борьба противоположностей, Гегель тем не менее не смог назвать конкретные противоположности – причины войн, а абстрактно-диалектический подход привел философа к выводу, что война не только неизбежное, но и весьма благоприятное явление, ибо поддерживает нравственное здоровье народов [2].

К. Маркс и Ф. Энгельс соединили диалектический метод Гегеля с материалистическим подходом к истории. Результатом стало диалектико-материалистическое понимание сущности войн. С этих позиций война – явление классового общества, а ее причиной является противоречие между классами, один из которых является собственником средств производства, а другой, неимущий класс, в силу этого эксплуатируется имущим. Такое противоречие выступает непосредственной причиной революции и нередко сопровождающей ее гражданской войны. Вместе с тем на уровне явления причиной войны между государствами видится про-

тиворечие не между антагонистическими классами, а между различными правящими, имущими классами. Борьба в этом случае является также борьбой за передел собственности – территории, полезных ископаемых, средств производства и даже рабочей силы (колониализм и неоколониализм). Однако нельзя не отметить, что глубинным, сущностным основанием всяких войн является всё же противоречие между производительными силами и производственными отношениями. Так, Вторая мировая война велась прежде всего между государствами с противоположными способами производства – капиталистической Германией и СССР. Этим во многом объясняется особая ожесточенность противостояния на фронтах Великой Отечественной войны. Памятуя о том, что по Марксу «общественное бытие определяет общественное сознание», отметим – война, как момент общественного бытия, и философия, как форма общественного сознания, появляются практически одновременно – с возникновением частной собственности на средства производства, классового общества и необходимой его политической формы и орудия классового господства – государства. До этого были отдельные вооруженные столкновения (ограниченные в пространстве и во времени) между племенами. Основаниями этих столкновений была не частная собственность, а интерес в поддержании жизни микросоциума – рода, семьи, племени. Но опять-таки причиной столкновений изначально были экономические интересы. Многие войны в Европе начала Нового времени велись под религиозными знаменами. Так, религиозная реформация XVI века на уровне явления воспринимается как причина целого ряда весьма долговременных войн между католиками и протестантами. В противоборство были втянуты католическая Испания и протестантские Голландия, Франция и Великобритания. Однако исследование причин возникновения всего движения протестантизма показывает, что это религиозное движение возникает в странах, раньше других вставших на путь капиталистического развития. Ортодоксальный католицизм задавал отсталые формы производственных отношений, несовместимые с развитием новых производительных сил. Это хорошо показал М. Вебер [3].

То же можно сказать и о религиозных войнах нашего времени. Современные Сирия и Ирак оказались в состоянии затяжных гражданских войн, которые изначально приобрели форму религиозных войн. В Сирии правящее арабо-алавитское меньшинство (близкое к шиитскому течению ислама) воюет с арабо-суннитской вооруженной оппозицией, в Ираке правящее арабо-шиитское большинство спровоцировало восстание арабо-суннитского меньшинства. Но то, что на поверхности явлений предстает как борьба религиозных конфессий, в сущности является всё тем же проявлением непримиримости экономических интересов, борьбой за экономический суверенитет, за рынки, за рабочую силу.

Вера в то, что сегодня война может вестись исключительно за какие-то религиозно-духовные ценности, не более состоятельна, чем вера в то, что США проводят свою агрессивную экспансионистскую политику во имя торжества принципов демократии и гуманизма.

Весь период после Второй мировой войны, в эпоху так называемой «холодной войны» между СССР и Западом, мир поддерживался весьма дорогостоящим паритетом войск и вооружений (включая, конечно, и термоядерное оружие). Уже в декабре 1945 года появилась директива объединенного комитета начальников штабов США, предусматривающая превентивное ядерное нападение на Советский Союз, не обладавший тогда атомным оружием. Испытавшие атомные бомбы на мирном населении Хиросимы и Нагасаки США планировали подвергнуть такой же бомбежке 20 крупнейших городов СССР.

Гораздо более полномасштабную ядерную бомбардировку СССР предложил в 1947 году Уинстон Черчилль (бывший премьер-министр Великобритании). Чем же была вызвана такая агрессивность по отношению к бывшему союзнику во Второй мировой войне со стороны Запада и почему агрессия не была осуществлена? Советский Союз в результате победы в Великой Отечественной войне становится не только сильным военным, но и весьма весомым экономическим соперником. С другой стороны, образование мировой системы социализма и военно-политического содружества стран социализма –

Варшавского договора (кстати, подписание Варшавского договора в 1955 году было ответом на образование еще в 1949 году военно-политического блока ведущих капиталистических стран – НАТО) заставило Запад умерить свои агрессивные амбиции.

Ученые (прежде всего академик И.В. Курчатов) и еще не окрепшая после войны промышленность СССР по прямой директиве и при постоянном контроле И.В. Сталина, а также и непосредственном руководстве Л.П. Берии за кратчайшие сроки сделали почти невозможное – к 1949 году в СССР было налажено производство атомной бомбы. Западу пришлось надолго отказаться от своих планов по ликвидации СССР.

Не будем здесь подробно рассматривать причины падения в 1991 году могучей страны – Союза Советских Социалистических Республик, но нет сомнения, что роль главного руководителя и инициатора этого процесса сыграл Запад.

25 апреля 2015 года Президент России В.В. Путин в послании Федеральному Собранию Российской Федерации охарактеризовал распад СССР следующими словами: «Прежде всего, следует признать, что крушение Советского Союза было крупнейшей геополитической катастрофой века. Для российского же народа оно стало настоящей драмой. Десятки миллионов наших сограждан и соотечественников оказались за пределами российской территории. Эпидемия распада к тому же перекинулась на саму Россию» [4].

Были, конечно, и внутренние причины развала СССР. Однако помимо экономических и политических причин этой геополитической катастрофы необходимо назвать и информационно-идеологическую войну, которую Запад вел против СССР в течение всех семидесяти лет существования Союза.

Критерием истины является, как известно, практика. Можно сколько угодно сомневаться в подлинности «плана Даллеса», но то, что произошло в 80-е – 90-е годы в России и с Россией не оставляет сомнения, что этот план был осуществлен, информационно-идеологическая «обработка» россиян именно по указанным пунктам была проведена блестяще и главная цель почти достигнута.

В результате разрушения СССР, прекращения деятельности Организации Варшавского договора, перехода к «рыночной экономике», практически одностороннего разоружения, предпринятого новым руководством России, и глубокого кризиса российской экономики был ликвидирован существовавший все послевоенные десятилетия военный паритет, баланс в противоборстве СССР и США.

Последующие процессы показали, что Запад с самого начала существования СССР стремился уничтожить не социализм, и не коммунизм, а Россию – её суверенитет. Это подтверждается прежде всего одним, но весьма показательным фактом. Сразу после ликвидации СССР и развала Варшавского договора НАТО, которое по его доктрине противостояло именно СССР и странам Варшавского блока, не только не было распущено, но и немедленно стало расширяться за счет внедрения своих войск и вооружений в освободившиеся сопредельные с Россией области. Поэтому разрушение «империи зла» – СССР не только не привело к миру во всем мире, но и, напротив, усилило процессы милитаризации в странах «победителях тоталитаризма». Это же подвигло США и НАТО на организацию целого ряда локальных войн, приведших к гибели десятков тысяч людей (причем среди мирного населения), разрушению и потере суверенитета целого ряда стран (Югославии, Ирака, Ливии, Сирии и др.). Поднял голову международный терроризм, организуемый и субсидируемый США, проводящими старую политику «разделяй и властвуй».

В том, что ликвидация СССР была первым пунктом плана по ликвидации России сегодня можно не сомневаться. Разрушение СССР, смена внутренней и внешней политики более чем негативно сказалась на экономике «демократической» России, благосостоянии ее основного, живущего собственным трудом населения. По «добрым подсказкам» Запада политики России периода «лихих 90-х» начали «лечить» Россию рынком и способствующей рынку тотальной приватизацией государственной собственности, моментальной либерализацией цен, галопирующей инфляцией...

Результаты проведения такой экономической политики в России были диаметрально противоположны декларируемому. Общий результат «демократического» реформирования России В.В. Путин охарактеризовал предельно однозначно: «... фактом остается то, что в 1999 году, когда я стал Председателем Правительства, а затем и Президентом, наше государство находилось в состоянии глубокого системного кризиса» [5]. Такой результат реформ трудно характеризовать иначе, чем измена национальным интересам.

Мир перешел к «однополярной» системе, что привело к резкому снижению обороноспособности России и увеличению военных конфликтов в мире, территориально приблизившихся сегодня к границам Российской Федерации. Создались реальные условия для перехода холодной войны между Россией и Западом в «горячую фазу». Эти условия связаны прежде всего с тем, что тотальная, беспрецедентная для крупных капиталистических стран приватизация государственной собственности – заводов, фабрик, научно-исследовательских институтов, предприятий добывающей промышленности и многих других производств, привела к деиндустриализации и к падению военного производства. К этому следует прибавить и начавшиеся еще в СССР крупномасштабные акции по одностороннему разоружению России, ликвидацию военно-политического блока Варшавского договора. Всё это привело к практической потере обороноспособности страны. Отсюда и рассмотренные в основных чертах выше милитаристские действия стран НАТО, сосредоточение их войск на границах России, новые планы ликвидации суверенитета и целостности нашей страны. Сегодня Соединенные Штаты вышли из Договора по ракетам средней и меньшей дальности. Сенат США уже внес в проект бюджета США статью о выделении \$58 млн на производство ракет средней дальности наземного базирования, что является прямым нарушением договоренностей по РСМД.

Наше государство, как весьма определенно было сказано Верховным главнокомандующим России В.В. Путиным в Послании Президента РФ Федеральному Собранию от 01.03.2018, ищет и находит уже адекватные ответы этим угрозам. «В России разработаны и постоянно совершенствуются весьма скромные по цене, но в высшей степени эффективные системы преодоления ПРО, которыми оборудуются все наши межконтинентальные баллистические ракетные комплексы.

Кроме того, мы приступили к разработке нового поколения ракет. В частности, в настоящее время Министерство обороны совместно с предприятиями ракетно-космической отрасли начало активную фазу испытаний нового ракетного комплекса с тяжелой межконтинентальной ракетой. Возможности ракеты «Сармат» значительно выше. При весе свыше 200 т она имеет короткий активный участок полета, что затрудняет ее перехват средствами ПРО. Дальность новой тяжелой ракеты, количество и мощность боевых блоков – больше, чем у «Воеводы». «Сармат» будет оснащен широким спектром ядерных боеприпасов большой мощности, в том числе гиперзвуковых, и самыми современными системами преодоления ПРО. Высокие характеристики по защищенности пусковых установок и большие энергетические возможности обеспечат применение данного комплекса в любых условиях обстановки» [6].

Начавшийся в 2000-х годах и интенсифицированный сегодня процесс возрождения оборонной промышленности, и особенно воздушно-космических вооружений России, заставляет Запад задуматься над пересмотром сценария действий по прямому вооруженному устранению «российской угрозы». Поэтому истинные «кукловоды» политических руководителей Запада вновь полагаются на информационно-идеологическую войну, которая позволила «без выстрела» развалить СССР, а в сегодняшней ситуации может помочь развалить и Российскую Федерацию.

Большинство российских политологов справедливо считают, что главной целью информационно-идеологической войны, которую сегодня ведет против России Запад, является организация «оранжевой революции» в России с последующим захватом Кремля проамериканскими силами.

Примечательно, что в информационно-идеологической войне с Россией Запад широко использует философско-политические концепции. На первый взгляд кажется, что они направ-

лены не на конфронтацию, а на консолидацию стран с различными экономико-политическими системами, внутренней и внешней политикой. Эти концепции демонстрируют пути и способы достижения мирного сосуществования, ликвидации экономических и социально-политических противоречий, установления социального равенства и справедливости, лежащие через развитие техники, повышение производительности труда. Представляется, что это – непреложная истина и возразить тут нечего. Однако в данных концепциях центральной и системообразующей является идея «технологического детерминизма», делающая базисом общественно-экономической формации не производственные отношения, как у К. Маркса, а элемент производительных сил – технику.

Даже беглый анализ становления и попыток разрешения проблемы социального неравенства, как источника политических конфликтов вплоть до войны, показывает, что сама проблема имеет экономико-политическое основание в частной собственности на средства производства. При этом главным средством производства выступает производящая техника. Поэтому-то очень многие мыслители и прошлого и настоящего времени связывали и связывают решение проблемы социального неравенства с развитием техники.

«Отдельные общественно-экономические формации отличаются не тем, что производится, а тем как производится – какими средствами труда» [7], – записал К. Маркс в своем знаменитом «Капитале». «Средства труда» – это и есть техника, или «... вещь или комплекс вещей, которые человек помещает между собой и предметом труда и которые служат для него в качестве проводника его воздействий на этот предмет» [8].

Буржуазные революции были определены новой революцией в технике и технологии производства. Изобретение прядильных рабочих машин и создание универсальной паровой машины дали толчок промышленному перевороту конца XVIII – начала XIX веков, ознаменовавшему переход от мануфактурного способа производства к машинному. Паровой двигатель мог приводить в движение уже не одну, а целый ряд рабочих машин. Это явилось предпосылкой создания различных передаточных механизмов, образовавших во многих случаях широко разветвленную механическую систему. Развитие крупной промышленности стало возможным благодаря тому, что она овладела наиболее характерным для нее средством производства – самой машиной. Если первоначально механические станки, паровые и др. машины создавались отдельно искусными рабочими кустарным способом, то в дальнейшем, с увеличением размеров двигательного и передаточного механизмов и рабочих машин, их усложнением, с появлением новых материалов, трудно поддающихся обработке, возникла объективная необходимость массового (промышленного) производства и применения машин в промышленности. Начав производство «машин машинами», крупная капиталистическая промышленность создала тем самым адекватный ей технический базис.

В то же время все девять тысяч лет существования первобытно-общинного строя социальное равенство было обеспечено не высоким развитием техники и технологии производства, а напротив, их примитивностью и низкой производительностью. Это доказывает, что марксистская концепция развития общества, определяющая в качестве базиса всего общественного развития не производительные силы и технику, а производственные отношения, раскрывает истинное положение дел.

Ведущая роль техники и технических революций в социальном развитии не должна быть абсолютизирована. В книге известного американского экономиста Джона Гэлбрейта (1908–2006) «Новое индустриальное общество» (1967) подчеркивается, что мелкотоварное производство и рыночная стихия благодаря развитию высокопроизводительной техники в новом индустриальном обществе уступают место крупным корпорациям и плановому государственному регулированию экономикой [9]. При этом, утверждает автор, укрупнение промышленного производства и резкий скачок производительности труда снимают социально-политические различия противоположных до этого государственных систем. Социализм и капитализм конвергируют до неразличения и сливаются в «едином индустриальном обществе». Последняя мысль наиболее полно представлена в работе Дж. Гэлбрейта «Капитализм,

социализм, сосуществование» (1988), написанной в соавторстве с российским экономистом С. М. Меньшиковым в жанре диалога двух ученых [10]. В трудах Гэлбрейта заложен фундамент теорий технологического детерминизма и социальной конвергенции.

Сегодня при рассмотрении причин Февральской и Октябрьской революций 1917 года, последующего развития мировой системы социализма идея социальной конвергенции вновь обретает популярность в качестве теории «упущенной возможности» развития двух противоборствующих систем и теории достижения социального равноправия без революций.

Идеи Гэлбрейта развивают авторы доктрин «Постиндустриального» и «Информационного» общества (популярность которых в сегодняшней России весьма возросла), стремящиеся представить дело так, что технические революции могут заменить собой социальные революции.

Концепция постиндустриального, информационного общества претендует на роль общесоциологической теории поступательного развития человечества, выступая с 70-х годов XX века и до наших дней главной теоретической альтернативой марксистскому учению об общественно-экономических формациях. Рассматриваемая концепция заменяет формационный подход цивилизационным, в котором история общества разделяется на цивилизации, определяемые уровнем развития техники, средств производства.

Наиболее видные представители рассматриваемой концепции – Д. Белл, Г. Кан, З. Бжезинский, О. Тоффлер (США), Ж. Ж. Серван-Шрейбер и А. Турен (Франция) утверждают, что в зависимости от уровня техники и технологии производства (в этом и проявляется технологический детерминизм) в обществе последовательно преобладают «первичная» сфера экономической деятельности (сельское хозяйство), «вторичная» (промышленность), а ныне оно вступает в «третичную» сферу услуг, где ведущую роль приобретают наука и образование. Каждой из этих трех стадий присущи специфические формы социальной организации (церковь и армия – в аграрном обществе, корпорация – в индустриальном, университеты – в постиндустриальном), а также господствующая роль определенного сословия (священников и феодалов, бизнесменов, ученых и профессоров-специалистов).

«Технологический детерминизм» – ядро этой новой буржуазной утопии, рисующей «золотой век» социального равенства и справедливости, высокого массового потребления, который будет достигнут за счет научно-технической революции без всякой классовой борьбы и упразднит последнюю, сделает ненужными и войны. Описывая подобную «технологическую республику», Бжезинский представляет ее как «утопический остров, на котором обычная диалектика развития приобрела столь акселерированный характер, что ни эволюция, ни революция больше не могут быть адекватными терминами ее описания» [11].

Новая волна кризисов, захватившая буржуазный мир во второй половине 70-х годов, заставила отказаться от многих утопических идей. Буржуазные социологи перешли к пессимистической футурологии, утопии уступили место антиутопиям, в которых техника, научно-техническая революция начинают играть уже отрицательные роли, считаются причиной чуть ли не всех трудностей и бед. Наиболее яркое воплощение эти идеи нашли в фильмах-антиутопиях, таких как «Терминатор» (1984–1991) «Искусственный интеллект. Доступ не ограничен» (2016), где электронный мозг объявил беспощадную войну своему создателю.

Однако выросший на американской почве «технологический детерминизм» продолжает питать новые социальные концепции «спасения». Еще в 1974 году, выступая с «пророчеством» относительно развития «постиндустриального общества», Белл отметил, что если определяющим признаком индустриального общества служит использование машин для производства товаров, то «организующим началом постиндустриального общества являются научные знания» [12]. Так был сделан крен в сторону науки и научной информации как основы общественного развития.

Развивая эту мысль, Тоффлер в изрядно нашумевшем труде «Третья волна» отмечает, что уже сегодня из 2 тыс работников половина имеет дело не с предметами, а с информацией [13]. Это дает возможность (с учетом отмечаемой Тоффлером «демассификации» средств

информации) перехода к работе на дому. Тоффлер рисует картину опустевших заводов и фабрик – 90% работающих манипулируют с электронной техникой дома. Цивилизация «Первой волны» связана с натуральным хозяйством, работой «на дому», прогресс в которой привел людей к общественному труду. «Вторая волна» обобществила труд до предела, «третья» ведет к упразднению общественного труда и следующей за этим «демассификации» сознания [14]. Эти «исторические периоды» явно противопоставляются учению марксизма об общественно-экономических формациях. Революция в получении и переработке информации является у Тоффлера основанием всех социальных изменений. Заметим, что концепция «информационного общества» в сущности, да и в рассматриваемой периодике «цивилизаций», не отличается от концепции «постиндустриального общества» и является лишь новым этапом развития последней, новой ее формой.

Создание «нового информационного общества» становится возможным благодаря появлению новых информационных средств (ЭВМ) – «компьютерной революции». Информация, заявляет Дж. Бурстин (США), одинаково входит в дом богатых и бедных, белых и черных, молодых и старых. Новые информационные системы способствуют созданию качественно иной технологии производства, что ускоряет технический прогресс и приводит к конвергенции социальной системы, когда «всё становится похожим на всё» [15]. С точки зрения О. Тоффлера, информационная техника вызовет «захватывающие дух социальные изменения» не только во всей структуре общественных отношений, в политике, но и в семье, в каждом отдельном человеке, который будет производить не вещи или услуги, а информацию. Этим человек перейдет к труду, полностью соответствующему его качественному отличию от живой природы [16]. Иначе говоря, техника произведет «тихую» социалистическую революцию!

Белл считает, что «информационное общество» вносит существенные коррективы в марксизм: «С сокращением рабочего времени и роли производственного рабочего (который в марксистской теории является источником стоимости) становится ясно, что знание и его приложения замещают труд в качестве источника «прибавочной стоимости» в национальном продукте. В этом смысле, так же как капитал и труд были основными переменными величинами индустриального общества, информация и знание – решающие переменные постиндустриального общества [17]. В качестве доказательства этой мысли приводятся факты рентабельности вложений в науку.

Названа ли тут принципиально новая основа получения прибавочной стоимости? Аргументация Белла лишь подтверждает тот факт, что в эпоху НТР наука становится непосредственной производительной силой общества. Однако Белл пытается интерпретировать его в том смысле, что материальная детерминация уступила место идеальной, что проявляется в решающем значении «кодифицированного теоретического знания для осуществления технологических инноваций, ... превращении новой «интеллектуальной технологии» в ключевой инструмент системного анализа и теории принятия решений».

Несомненно, возрастание роли субъективного фактора приводит к повышению значимости звена «идеальное → материальное» в общей цепи человеческой деятельности и познания материальное → идеальное → материальное' («объективированное» идеальное). Научная мысль ускоряет и делает более эффективным процесс детерминации материального материальным, осуществляемый в производстве материальных благ. Увеличение доли «идеализированных» моментов в производстве не упраздняет материальную основу такой идеализации. Получение и использование информации по-прежнему производится в труде.

Создание материальных ценностей при помощи информации предполагает, безусловно, деятельность по получению и переработке такой информации. Компьютеры ускоряют и качественно преобразуют эту деятельность, но не отменяют человека полностью. Интеллектуальная деятельность человека получает орудия, становящиеся всё эффективнее (то же самое ранее происходило с орудиями физического труда), что находит отражение в интел-

лектуализации всей трудовой деятельности человека, повышении ее напряженности в этом аспекте.

Эксплуатировать, как показывает сегодняшняя практика буржуазного мира, можно и интеллектуализированный труд. Распределение материальных и духовных благ по-прежнему, как и во времена К. Маркса, зависит от формы собственности на средства производства, включая и компьютерную, информационную технику. В связи с этим несостоятельны попытки теоретиков «информационного общества» рассматривать компьютеры в качестве радикального средства демократизации. Например, Д. Мур (США) пишет, что «демократии нужны миллиарды рабочих часов. Их дадут электронные машины-роботы, которые могут работать 24 часа в день, 365 дней в году с минимальными затратами и очень скромным комфортом» [18]. Остается только выяснить, кому будут принадлежать эти «новые рабы». Если не всему обществу, то это не только не улучшит положения обездоленных, но и не расширит демократию, так как последняя связана с производственными отношениями, а не производительными силами, о чем «забывает» Мур. Если указанные «роботы» будут принадлежать отдельным классам и социальным группам, то никакой демократизации не произойдет при любом, сколь угодно высоком уровне компьютеризации и автоматизации производственных процессов. Последний лишь увеличит могущество и произвол одних, бесправие и подчиненность других. В этом мы уже можем убедиться, не выезжая за пределы России.

Таким образом, концепция «информационного общества» не несет в себе ничего принципиально нового по отношению к концепции «постиндустриального общества», опирается на основные идеи «технологического детерминизма». Единство философской и классовой сущности этих теорий проявляется прежде всего в сходстве предлагаемых ими путей улучшения социальной действительности – реформизме, абсолютизирующем производительные силы как единственное основание, причину исторических изменений, плюралистическом подходе, отрицающем исторический детерминизм, необходимость коренного преобразования производственных отношений для качественного изменения всех социальных отношений» [19]. Эта концепция фактически пытается увековечить антагонистические общественные отношения, ибо в информационном обществе сохраняются социальная неоднородность, неравенство и отчуждение личности, деление на правящую, технократическую элиту и управляемые массы населения, частная собственность и политические конфликты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя надо отметить следующее. Война, как осуществление политических целей вооруженными средствами, сама политика, как осуществление властных функций государства, государство, как орган политической власти и управления, политическая идеология – всё это экономически детерминировано появлением частной собственности на средства производства.

Рост частной собственности приводит к увеличению количества войн, их глобализации, возрастанию интенсивности, экспоненциальному росту жертв и разрушений.

Ведущая на сегодня западная концепция постиндустриального, информационного общества не раскрывает истинных путей достижения человечеством мира, справедливости и процветания, ибо не рассматривает истинные причины возникновения войн, экономического и социального неравенства, разделения людей на бедных и богатых. Вопреки данной концепции научно-технический прогресс не только не разрешает указанные проблемы, но и усугубляет их. Проблема угрозы новой мировой войны при этом никак не решается, а вопрос о ее источнике вообще выносится «за скобки».

Эффективная антикризисная политика, противостояние угрозе войны должны, как было указано в Послании Президента РФ Федеральному собранию от 01.03.2018 [20], строиться на основании реиндустриализации, которая может быть произведена только при установлении решающей роли государства в управлении экономикой и обществом. Частный собственник ду-

мает о собственной прибыли и не вкладывает капитал в «долгострой». Ему выгоднее строить заповолившие Россию супермаркеты, спекулировать товарами иностранного производства.

Несовместимость рыночной экономики и индустриального общества отмечал еще 50 лет назад Дж. Гэлбрейт: «Когда речь идет об инженерах – специалистах по инерционным системам, конструкторах автоматических систем, специалистах по исследованию сверхпроводимости и аэродинамике, инженерах по радиоконтролю и радиоизмерению, равно как и о титановых сплавах (в сравнении со сталью) и космических аппаратах (в сравнении с мотоциклами), полагаться на рынок можно в значительно меньшей степени. Потребности в них должны быть тщательно рассчитаны и спланированы» [21].

Решение поставленных в Послании Президента РФ проблем требует перехода под государственный контроль целых отраслей, коренное изменение налоговой политики в пользу государства, общества, а не в пользу частного собственника. Этатизация позволит вернуть ведущую роль России в области научных исследований, образования, найти новые технологические решения для индустрии. Только реализация этого плана нивелирует рассмотренные в настоящей статье детерминанты современной войны.

Список используемых источников

1. Руссо Ж.-Ж. Об общественном договоре // Трактаты. – М., 1969. – С. 156.
2. Гегель Г. Феноменология духа. – СПб., 1992. – С. 241–242.
3. Вебер М. Избранные произведения. – М., 1990. – С. 64.
4. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 25.04.2015. – С.2. – URL: <http://www.pravda.ru/politics/authority/kremlin/25-04-2005/50878-poslanie-0> (дата обращения: 12.10.2017).
5. Путин В.В. Россия сосредотачивается – вызовы, на которые мы должны ответить // Известия. – 2012. – 17 января.
6. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 01.03.2018. – С.17. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291976/ (дата обращения: 02.03.2018).
7. Маркс К. Капитал. В 2 т. Т. 1 // Маркс К. и Энгельс Ф. Сочинения. – 2-е изд. – М.: Изд-во политической литературы, 1960. – Т. 23. – С. 191.
8. Там же. – С. 190.
9. Гэлбрейт Дж. Новое индустриальное общество. – М.-СПб., 2004. – С. 48–49.
10. Гэлбрейт Дж. К., Меньшиков С. М. Капитализм, социализм, сосуществование. – М., 1988. – С. 143–145.
11. Bzesinski Z. America in technotronic age: utopia. – New York, 1971. – P. 127.
12. Белл Д. Постиндустриальное общество, что принесут 1970–80-е годы? // Америка. – 1974. – № 215. – С. 3.
13. Тоффлер О. Третья волна // США. Экономика, политика, идеология. – 1982. – № 9. – С. 79.
14. Там же. – № 7. – С. 95–99.
15. Boorstin D. The republic of technology: Reflections of our future community. – New York, 1978. – P. 5–7.
16. Тоффлер О. Третья волна // США. Экономика, политика, идеология. – 1982. – № 9. – С. 79–82.
17. Bell D. The social framework of information society. – London, 1981. – P. 166.
18. Moore D.T. Will robots save democracy? // Futurist. –1981. – Vol. 15, № 4. – P.18.
19. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 01.03.2018. – С.2. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291976/ (дата обращения: 02.03.2018).
20. Гэлбрейт Дж. Новое индустриальное общество. – М.-СПб.: АСТ, Транзиткнига, 2004. – С. 48.

Н.А. Репях,
кандидат философских наук;
А.Н. Хрустова

ГУМАНИЗМ КОСМОФИЛОСОФСКИХ ИДЕЙ Н.Ф. ФЁДОРОВА

Публикация посвящена рассмотрению идей родоначальника уникального космического направления философской мысли России Н.Ф. Фёдорова. В центре внимания мыслителя проблемы активно-эволюционного преобразования Вселенной на основе разума и нравственного чувства.

Ключевые слова: русский космизм, «философия общего дела», космическая экспансия, воскрешение, наука, регуляция природы.

В геополитической обстановке стремительно меняющегося и остро противоречивого XXI века Россия столкнулась с новыми вызовами. Россия должна быть сильной, или не будет России. Ее сила прежде всего в духовности, единстве и силе общества. И сегодня, когда человечество подошло к краю бездны, Россия призвана дать миру образцы общественных идеалов, ценностных ориентиров не только национального, но и глобального уровня. Особую значимость в этих условиях приобретает обращение к истории отечественной философской мысли. Призыв к миру и единению людей, приверженность добру и свободе, характерная для русской философии, приобретают особое звучание в современных условиях.

Самобытность и оригинальность русской философии связаны прежде всего с ее историософичностью. Отечественная философская мысль всегда устремлена вперед, страстно и порой мучительно ищет место России во вселенском будущем.

Русские мыслители предлагали разнообразные проекты социальных преобразований: от народной революции, социалистического переустройства общества до христианской любви и религиозных утопий всеобщего братства. Особое место в этом ряду занимает «Философия общего дела» Николая Фёдоровича Фёдорова (1828–1903), положившая начало формированию уникального космического направления научно-философской мысли – философии русского космизма [1].

Оценивая глубину идей Н. Фёдорова, известный отечественный философ С. Булгаков писал: «... не пришло еще время для жизненного опознания этой мысли – пророку дано упреждать свое время». Действительно, вряд ли кто-то из блистательного созвездия русских мыслителей конца XIX – начала XX веков смог оказать такое общепризнанное влияние на различные ряды русской культуры: от писателей Ф. Достоевского, Л. Толстого, М. Горького и В. Брюсова, поэтов В. Хлебникова, В. Маяковского, Н. Клюева и Н. Заболоцкого до художников П. Филонова и В. Чекрыгина, ученых В. Мечникова и К. Циолковского [2].

Ренессанс интереса к творчеству Н. Фёдорова относится к концу XX века, когда в конце 80-х годов в Москве появляется общество имени Н.Ф. Фёдорова. В 1988 году в г. Боровске прошли Первые Всесоюзные Фёдоровские чтения. В 2003 году в Белграде состоялся Международный Конгресс «Космизм и русская литература. К 100-летию со дня смерти Н.Ф. Фёдорова».

Следует отметить, что до сих пор учение Н. Фёдорова остается малоизученным и недостаточно оцененным. И до настоящего времени продолжают попытки реконструировать философскую систему мыслителя. При этом сохраняются различные оценки его идей, акцентируется внимание на самых разных аспектах творчества самобытного мыслителя [2].

Существуют действительно объективные трудности в изучении философских взглядов Н. Фёдорова. Как известно, записывать свои мысли он стал достаточно поздно и не систематически. При жизни Н. Фёдоров не печатал почти ничего, в редких случаях это было ано-

нимно, без подписи автора, по преимуществу в провинциальных или малоизвестных изданиях. Некоторые записи велись учениками Н. Фёдорова, которые не могли не привнести собственных мнений, оценок. Лишь посмертное издание рукописей дало возможность познакомиться с идеями основоположника философии русского космизма. Причем изданные два тома «Философии общего дела» [первый – в 1906 году в г. Верном (Алма-Аты), а второй – в 1913 году в г. Москве] можно было бесплатно получить у издателей (учеников Н. Фёдорова – В. Кожевникова и Н. Петерсона), которые от всех своих прав на издание отказались. Третий том начали готовить к изданию в Харбине, но в печати он так и не появился. Несколько отрывков было опубликовано в журнале «Путь» [4].

Ни в одном из социальных проектов, которые выдвигались ранее отечественными философами, достижение высшей социальной цели не рассматривалось как единое дело, смысл жизни всех и каждого. И касалось это не только живущих, но и всех усопших, да и тех, кому еще жить предстоит. Эта общая цель, общее дело распространялось на всё бытие и формы его существования, включая бытие людей, природы и далее – всей Вселенной.

Поистине глобальный, космический характер идей Н. Фёдорова поражает верой в человека, силу его разума. «Жить нужно, – писал Н. Фёдоров в статье «Вопрос о братстве или родстве и о причинах небратского, неродственного, т. е. немирного состояния мира и средствах к восстановлению родства», – не для себя (эгоизм) и не для других (альтруизм), а со всеми и для всех» [3].

Проект «всеобщего дела» преследует цель возврата «долга к отцам-предкам, воскрешения, как самой высшей и, безусловно, всеобщей нравственности, нравственности естественной для разумных и чувствующих существ, от исполнения которой зависит судьба человеческого рода» [3]. Возвращение этого долга есть не что иное, как воскрешение умерших, причем понимаемое Н. Фёдоровым буквально, физически.

Изначально социально-философский проект – «общее дело» – Н. Фёдоров связывал с возможностью продления жизни как высшей всеобщей цели человечества, а далее – воскрешение предков. Он сам называл его «нравственным материализмом», предполагающим нравственное преобразование человека и общества. Осуществить его позволяет, по Н. Фёдорову, двойственная природа человека: единство двух составляющих – природной (животной) и трудовой (творческой). Последняя обеспечивает и создание, и воссоздание биологической природы человека.

Следует отметить, что основная категория фёдоровского философского мышления – должностное бытие, а не данное. Философская идея у него заменяется проектом. Именно проект и есть у Н. Фёдорова актуализированное должное, способ перехода или сам переход к действию. «Мир, каков он в настоящем, каким он дан нам в опыте, так сказать, пассивном, есть только совокупность средств для осуществления того мира, который дан нам в мысли, в представлении» [3]. Размышления Н. Фёдорова над этими вопросами приводят его к выводу: «В настоящее время дело заключается в том, чтобы найти, наконец, потерянный смысл жизни, понять цель, для которой существует человек и устроить жизнь сообразно с ней. И тогда сама собой уничтожится вся путаница, вся бессмысленность человеческой жизни» [3].

В чем же заключается этот смысл? Что там, за чертой жизни, о которой молит человек и которой страшится больше всего на свете? На что может надеяться человек?

Нет большей трагедии в человеческой истории, чем смерть человека. С этим смириться нельзя, уверен Н. Фёдоров, смерть должна быть побеждена. «Как ни глубоки причины смертности, – пишет он, – смертность не изначально, она не представляет безусловной необходимости: слепая сила, в зависимости от которой находится разумное существо, сама может быть управляема разумом».

Как известно, Н. Фёдоров не первый, кто обращался к указанной теме. Подобные поиски нашли отражение во многих древних легендах, мифах и книгах, таких как Египетская Книга Мертвых, Тибетская Книга Мертвых. Многочисленные индийские трактаты повествуют

о звуках и ритмах Вселенной, которые существуют вечно. С ними материальный человек при рождении сливается своим духом и продолжает по их волнам жить всю жизнь.

Случаи возвращения жизни в тело умершего человека описывает в своих диалогах древнегреческий философ Платон. Человеческий смысл во всей древнегреческой философии имеет и само понятие космоса – человек представляется в нем частью космоса, его отражением, мыслящим живым организмом.

Решение идеи воскрешения Н. Фёдоров связывает как с религиозным, так и с научным обоснованием. Сам мыслитель называл свое учение активным христианством. Вместе с тем он считал, что, хотя Бог и является творцом человека и Вселенной, его замыслы и предначертания были искажены. И отсюда несовершенство природы и человека. Однако, опираясь на православное христианство как религию воскресения, человек в состоянии изменить это положение дел. Он может не только разумно управлять природой, но и изменить собственную природно-биологическую основу: «...Бог воспитывает человека собственным его опытом; он – Царь, который делает всё не только лишь для человека, но и через человека; поэтому-то и нет в природе целесообразности, что ее должен внести сам человек, и в этом заключается высшая целесообразность. Творец через нас воссоздает мир, воскрешает всё погибшее...» [3].

В качестве доказательства возможности воскрешения человека Н. Фёдоров указывает на пример воскрешения Лазаря и самого Иисуса Христа [4]. Однако основной смысл христианского учения он видит не в догматах, а в том, что оно утверждает возможность человека в преодолении смерти, дает надежду человеку и дарует веру в спасение. Если в православии воскрешение связывается с мистическим чудом, то Н. Фёдоров строит свой проект главным образом на основе научного познания, ориентируется на возможности будущей науки. При этом науке он отводит место рядом с искусством и религией.

Решение столь грандиозных задач по силам науке. Иначе, если экспедиции в исследуемые миры цивилизации невозможны, считает Н. Фёдоров, значит «наука лишена всякой доказательности, не говоря уже о пустоте такой науки» [3].

Именно наука призвана открыть способы избавления человечества от смерти и дать людям средства воскрешения усопших. Осуществить регуляцию природы, сделать ее разумной, что позволит победить голод, болезни, разрушение и смерть – задача ученых.

«Как ни глубоки причины смертности, – пишет он, – смертность не изначально, она не представляет безусловной необходимости: слепая сила, в зависимости от которой находится разумное существо, сама может быть управляема разумом». Но как человеческий разум участвует в спасении мира (победе над смертью) и регуляции природы?

Н. Фёдоров пишет, что «вещество есть прах предков» и уверен, что человека можно собрать из «мельчайших частиц», из которых состоит наша планета и которые разбросаны как во времени, так и в пространстве. Для решения этой грандиозной задачи предлагается подчинить все науки единой космической науке (астрономии): через регуляцию метеорологических явлений (устраняющую возможность засух и т. д.) следует двигаться к «регуляции слепых движений планет и всей солнечной системы» и к «расширению регуляции на другие звездные системы». С помощью созданных для этих целей научных центров Н. Фёдоров видел возможность собирать рассеянные атомы и молекулы, чтобы «сложить их в тела отцов» [3]. Кстати, есть мнение, что современные «нанотехнологии» есть не что иное как реализация идеи «собираания из атомов» макроскопических тел вплоть до человека.

Н. Фёдоров намечает основные характеристики собственно самого процесса воскрешения человека – восстановления рассеянного вещества и сложения собранных частиц. Он определяет задачи, которые предстоит решить человеку, чтобы «одухотвориться, сделаться сознательно действующим».

Полному воссозданию человека предшествует выработка организма, который «есть единство знания и действия», а его питанием будет «сознательно-творческий процесс обращения

человеком элементарных, космических веществ в минеральные, потом в растительные и, наконец, живые ткани» [3].

Каким будет этот воссозданный, воскресший человек? По Н. Фёдорову, «человек будет тогда носить в себе всю историю открытий, весь ход этого прогресса; в нем будет заключаться и физика, и химия, словом, вся космология, только не в виде мысленного образа, а в виде космического аппарата, дающего ему возможность быть действительным космополитом, т. е. быть последовательно всюду; и человек будет тогда действительно просвещенным существом» [3].

Процесс восстановления по Фёдорову очень длительный и трудоемкий. Ему мешает главным образом разобщение человечества, дефицит разума, нравственности и доброй воли. Но не нужно отчаиваться, убежден мыслитель, необходимо настойчиво двигаться вперед. Со временем приобретенный опыт позволит «одним взглядом» достичь того, на что ранее требовались годы тяжелого труда.

Первый воскресший, по мнению философа, будет воскрешен сразу после его смерти. За ним последуют те, которые менее предали себя тлению. Дальнейшие шаги в этом деле будет облегчать каждый новый опыт. «С каждым новым воскрешением, – пишет Н. Фёдоров, – знание будет расти; будет оно на высоте задачи и тогда, когда род человеческий дойдет и до первого умершего» [3]. Это знание, убежден Н. Фёдоров, не позволит человечеству быть пассивным созерцателем «постепенного разрушения нашего жилища и кладбища, т. е. погибнуть не себя только, не живущее лишь поколение, но лишит будущего и все прошедшее, совершить грех, преступление не против братьев только, но и против отцов» [3].

Отсюда глобальная по своим масштабам и возможности осуществления задача – «в изменении всего природного, дарового в произведенное трудом, в трудовое; небесное же пространство (распространение за пределы Земли) и требует именно радикальных изменений в этом роде» [4].

Где и кто сможет осуществить проект воскрешения? Кому по силам космическая экспансия? Н. Фёдоров убежден, что это историческая миссия русского народа. Основанием уверенности он считает сам характер народа, его душу. Это обусловлено тем, что формирование народа («воспитание», по словам Н. Фёдорова) шло под воздействием широких просторов суши и океана. «Ширь Русской земли способствует образованию подобных характеров; наш простор служит переходом к простору небесного пространства, этого нового поприща для великого подвига» [3].

В России есть и другие, считает Н. Фёдоров, существенные предпосылки для создания мира будущего: православие; общинная жизнь; более правильный, нравственный, чем городской, образ жизни; «служилое» государство. Однако избранность, исключительность России не означает ее превосходства. Главная особенность России в том, что путь ее возрождения совпадает в значительной степени с движением всего человечества к объединению.

Сам Н. Фёдоров подчеркивает, что выдвигаемый проект чрезвычайно смелый, требующий прежде всего преодоления предрассудков – «мысль о пользовании исследуемыми путями и мирами втайне присутствует в умах исследователей...» [3]. При этом он высказывает уверенность в осуществлении идеи. «Все периоды истории очевидно стремление, которое показывает, что человечество не может удовлетвориться тесными пределами Земли, только Земным».

Н. Фёдоров понимает, что исполнение столь грандиозных планов потребует и серьезных затрат. Но они не дороже того, убежден философ, что «тратится на увеселение, и даже не вводится никакого нового расхода, а изменяется лишь назначение того, что прежде служило одному увеселению» [3].

«Философия общего дела» содержала пламенный призыв к преобразованиям глобальных, космических масштабов. «Порожденный крошечною Землею, зритель безмерного пространства, зритель миров этого пространства должен сделаться их обитателем и правителем».

В истории отечественной философской мысли достаточно часто высказывались критические замечания в отношении идей Н. Фёдорова. Среди критиков такие признанные авторитеты, как Г. Флоровский, Вл. Соловьев, В. Зеньковский [4]. В учении Н. Фёдорова они видели только идеи воскрешения человека, что и было объектом критики.

На учение Н. Фёдорова наложили свой отпечаток общественно-исторические противоречия своего времени. В нем нашли отражение как внутренний духовный мир мыслителя, его судьба, образ жизни, так и различные, часто противоположные философские традиции – от естественнонаучного позитивизма до религиозно-философских концепций.

Предвидя критику утопичности идеи космической экспансии, «фантастичности предполагаемой возможности реального перехода из одного мира в другой», Н. Фёдоров оправдывает «несомненность такого перехода» силой нравственности выдвигаемой цели. Отказаться от нравственности равносильно, по мнению мыслителя, отказу быть человеком. На наш взгляд, главная цель проекта «общего дела» прежде всего в его глобальности, поистине космическом характере осуществления всем человечеством, вера в силу разума человека, его духовность. Особая ценность идей Н. Фёдорова в том, что он заложил основы мировоззрения, способного открыть новые пути для понимания места и роли человека во Вселенной. Сегодня его по праву называют «мировоззрением третьего тысячелетия».

Острые противоречия исторического процесса предопределили предельную сложность и запутанность современной цивилизации, резко усложнили бытие человека в этом мире. Прогресс породил глобальные проблемы как концентрированное выражение противоречивости и драматизма человеческой истории. Их острота и масштабы поставили вопрос о духовном и физическом выживании человечества и сохранении человеческого рода. Как никогда актуален призыв Н. Фёдорова – «со всеми и для всех» – к современному человечеству как единому и планетарному сообществу.

Вера Н. Фёдорова в силу разума человека, а в содержательном плане и преодоление смерти как одним из звеньев его замысла – высшая нравственная задача, решение которой позволит осуществлять и регуляцию природы. В этом направлении, на наш взгляд, следует вести поиск путей общественного прогресса как стратегии выживания человечества, сохранения и воспроизводства жизни во всех ее формах.

Призыв мыслителя к «общему делу» актуален, так как он обращен и к верующим, и к атеистам. Сила его в том, что он действительно может и, что самое главное, должен быть принят всеми смертными. Этот призыв обращен главным образом к нравственному чувству человека, к зову Бога в человеке. И даже человеку, отрицающему смысл мира, Н. Фёдоров отвечает: «...если это и так, то мы должны придать ему смысл». Поэтому идеал божественного бытия он понимает как регулятивную идею, расширяемую на всю Вселенную. И в основе такой идеи – всеобщее дело, в котором могут и должны наконец соединиться все земляне: и верующие, и неверующие [1].

Бесспорно, учение Н. Фёдорова – это разновидность социальной утопии. Но бесспорно и то, что у читателя дух захватывает от смелости идей мыслителя – глубоконравственных и удивительно современных, созвучных мучительным поискам многих смысложизненных проблем человека XXI века. Несомненно и то, что «философия общего дела» будет привлекать интерес не только философов, но особенно тех, кто посвятил свою жизнь освоению космоса в интересах защиты своей Родины.

Список используемых источников

1. Космический императив: философско-социологические очерки. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 1995. – 78 с.
2. Русский космизм: антология философской мысли / сост. С.Г. Семенов, А.Г. Грачев. – М.: Педагогика-Пресс, 1993. – 368 с.

3. *Фёдоров Н.Ф.* Сочинения. – М., 1982. – 586 с.
4. *Зеньковский В.В.* История русской философии: соч. в 2 т. – Л.: ЭГО, 1991. – Т. 2, ч. 1. – С. 134–150.
5. История философии: учебник для высших учебных заведений. – Ростов-н/Д: Феникс, 2001. – Разд. III, гл. 2. – С. 461–465.

Kalinin V.N. Optimum Control of Informational Interaction of the Spacecraft with a Surface of the Earth in the Conditions of Random Disturbances // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 6–18.

In the article a number of problems of the space cybernetics connected with optimum control by processes of information interaction of the spacecraft with a surface of the Earth in the conditions of random disturbances is considered. The spacecraft makes uncontrolled flight on an orbit round the Earth, information interaction with a surface of the Earth implements by means of one device with the limited not filled up resource. The set of information interaction on an earth surface represents the set section of flight course. The dynamic model of information interaction is presented in the form of linear integrated operator of Fredholm. As a random factor influencing result of interaction, distribution of factor of a transparency of the near-earth geophysical environment along flight course is considered. As criterion of an optimality the requirement of a maximum of a population mean linear terminal функционала, characterising relative value of the received information is considered. It is shown that corresponding problems of stochastically-optimum control are reduced to a problem of optimum programmed control Lyapunov's type which dares on the basis of application of the concept of immersion of Lagrange.

Keywords: space cybernetics, the spacecraft, information interaction, space of information conditions, a class of admissible casual disturbances, probability space, a Hilbert space, stochastically-optimum terminal control, a problem Lyapunov's type, the concept of Lagrange.

Kachura Y.O., Saprykin D.I., Faleev P.A. Modeling of military and political activity of states through association analysis methods in decision-making support systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 19–29.

The modern warfare methods widely use economic pressure and information war. The systems of monitoring Russian and foreign socio-economic activities don't involve the hidden knowledge about regularities of these activities because of an uncertain character of their performance. The work presents the possibility of using association data analysis for revealing the hidden dependencies between indicators of the functioning of military facilities.

Key words: association analysis, association rules, data mining, military and political situation analysis.

Kobzarev I.M., Kopkin E.V. Algorithm of Choice of Discrete Diagnostic Signs by the Criterion of the Maximum Efficiency of Information // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 30–43.

The algorithm of construction of flexible analysis program of the object technical state by the criterion of the maximum efficiency of received information is offered. The discrete diagnostic signs are used. The information efficiency is calculated as the ratio of its value to its quantity. A numerical example of the algorithm implementation is given.

Key words: technical state analysis; information value; information efficiency; diagnostic sign.

Voznuk V.V., Kutsenko E.V. Noise immunity of radio communication system with wideband BPSK signals under the action of retransmitted compensation interference such as direct inversion of the signal // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 44–56.

The article presents a mathematical model of the impact of relayed interference compensation type direct inversion of the signal on a radio communication system using binary phase-shift keyed wideband signals. Research of noise immunity of these systems was carried out by evaluating the average error probability on the transmitted information bit. On the basis of the obtained results was found possible vulnerability of today's highly noise-immune communication systems and information transfer using binary phase-shift keyed wideband signals with respect to the relayed interference type.

Key words: relayed interference, noise immunity, complex signals, compensation and aiming at the frequency band noise interference, the average probability of bit error in the transmitted information.

Kvasov M.N., Kosyakov E.N., Shadrin A.G. The method of justification of requirements to the efficiency of the reconfiguration of the network nodes to exchange information // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 57–62.

This work presents a method of justification of requirements to the efficiency of the reconfiguration of the network nodes to exchange information. The method is based on the calculation of initial moments of the analyzed delay distributions using a combination of two standard queueing models and approximation of the desired moment distributions. Solved the problem of the estimation of parameters of efficiency of message delivery for various values of the duration of the "starter" and load level system.

Key words: system of information exchange, operational reconfiguration of the network service system with "starter".

Malcev G.N., Sakulin E.A. Analysis of the general solution of the problem of calculation of orbit accuracy prediction of navigation space satellites // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 63–72.

The results of the analysis of the general solution of the problem of predicting the accuracy of calculating the orbits of space satellites on the basis of matrix differential equations are presented. It is shown that its practical use for predicting the accuracy of the ephemeris of navigational space satellites is limited by the need for a statistical description of the errors in determining the state vector and the perturbing forces that are not taken into account in the mathematical model of motion. Based on the general analytical solution for the error in determining the state vector and a posteriori estimates of the quality of the navigational field of the GLONASS system, a special mathematical model of the change in the accuracy of the ephemeris in the form of differential equations of state is proposed. This model can be used in planning operations of ephemeral-temporal provision and control of space navigation apparatus. The predicted parameters are equivalent to the pseudo-range error due to the space segment for each navigational space satellite.

Key words: satellite navigation, forecasting of space satellites orbit, ephemeris, accuracy of navigation signals.

Berezhnoy I.V., Karin A.I., Karin S.A. Algorithms of complex processing of geoinformation in system of special purpose // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 73–78.

The role and place of the network-centric systems in the processes of collecting, storing and processing of heterogeneous geospatial data are defined. Considered their main differences and dignity. Proposed conceptual model of a common information space in the special system. Its main characteristics, as well as technology that provides high-performance communication between its nodes are described.

Key words: network-centric systems, heterogeneous geospatial data, a common information space, distributed geospatial data bank.

Gorianskiy A.S., Karitko A.A., Prorok V.Y. The method of projecting of space objects at planning information collection optical-electronic monitoring means of the cross-outer space // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 79–88.

The article proposes the solution of the scientific task of developing a scientific and methodical apparatus for ranking space objects in difficult conditions of the space environment in the interests of planning the application of opto-electronic means of monitoring near-Earth space. The rank of the space object is calculated taking into account its qualitative and quantitative characteristics. The

functional dependence of the rank of a cosmic object on its characteristics and the events of near-earth cosmic space identified with it is realized by a fuzzy neural network. The result of the ranking procedure is the introduction of order relations on the set of planned space objects. The order of ordering the set of cosmic objects allows us to formalize and solve the problem of quasi-optimal resource allocation for near-Earth space monitoring by known methods of discrete optimization.

Key words: space object, fuzzy artificial neural network, system for monitoring near-Earth space.

Novikov A.N., Smagin V.A., Shiryamov O.A. Algorithm of determining the variants of the structure of the system of scaling with targeted limitations // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 89–99.

The article considers the element of ensuring the uniformity of measurements - the metrological system of scaling. The problem of constructing the system of scaling under conditions of uncertainty of information about the states of nodes used in the transmission of a unit of magnitude is associated with the possibility of the transition of nodes to an inoperative state due to the influence of various external and internal factors. The analysis of possible methods for solving the problem is carried out. An algorithm for traversing a graph is suggested that allows finding a route with a maximum probability of transmitting of the measurement standard from the reference standard to the working instrument under the cost and time limitations of the transmission itself.

Key words: system of scaling, algorithm for circumventing a graph with constraints, uncertainty of information about the states of nodes of a system.

Bessoltsev V.E., Markov P.N., Sazonov K.V. Vulnerability of user interface web applications // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 100–110.

Vulnerability of user interface web applications: The article covers the main types of vulnerabilities of the web application software, their classification and operating principles.

Key words: Web application, cross-site code execution, cross-site forgery of the request, active analysis methods, passive analysis methods.

Lukyanov R.V. A method of control the condition of information security of automated systems in the conditions of a heterogeneous mass incidents // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 111–115.

The article is devoted to the control of information security in automated systems, in particular the maintenance of the required level of information security in the conditions of information technology impacts. The article also describes the key stages of the method of monitoring the state of information security of automated systems.

Key words: security incident, the system of information security control information security evaluation of information security condition.

Lukyanov R.V. Method of control the condition of information security of automated systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 116–121.

The article is devoted to the issues of information security in automated systems, in particular the organization of information security monitoring. The article also discusses the assessment of the general state of information security level and the decision of the security administrator on the need for further response to identified incidents.

Key words: information security controls, automated system, dynamic indicator of potential danger.

Abramenkov V.V., Gavrilov A.D., Mayburov D.G. The substantiation of the approach to the construction of a system for selecting the moving targets of radar stations for detecting small unmanned aerial vehicles // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 122–129.

The analysis of modern directions of improving the systems of selection of moving targets of radar in the detection small unmanned aerial vehicles is presented and some results of studies of this problem area performed in the Military Academy of the Armed Air Defense of the Armed Forces of the Russian Federation and the Military Space Academy are presented.

Key words: informational and administrative contour, reflection of air strikes against the enemy, components of the information support system, radar stations, unmanned aerial vehicles, selection of moving targets.

Substantiation of geometrical parameters of links of the manipulator of the space robot / A.A. Ardashov, A.A. Sasunkevich, A.P. Sofin, L.A. Fedorova // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 130–137.

The proposed definitions of the geometric parameters space of manipulators, designed for the servicing of spacecraft.

Key words: space robot, manipulator, luke, link, stock manipulation, the characteristic point of the manipulator.

The evaluation of technical and economic effect of the application of reusable design elements of rockets / D.G. Belyanin, V.A. Gribakin, A.S. Perfiliev, S.Y. Pirogov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 138–145.

On the basis of the analysis of tendencies of development of modern means of deduction tendencies of change of constructive features for the purpose of decrease in cost of start-up are analyzed. In the article on the basis of the technical and economic model of cost estimation of launch of launch vehicle scheme tandem type light class considered the effects of reducing the cost of launch when re-using the individual elements of the structure: the first stage of the rocket unit as a whole and the liquid rocket engine of the first stage.

Key words: carrier rocket, rocket block, liquid rocket engine.

Voronin A.E., Peshehonov N.E. A mathematical model of the task requirements to power supply reliability of a special object // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 146–152.

The questions of distribution reliability requirements of systems special object, for the purpose of justification of requirements to reliability of power supply system. Analyzed the basic methodological approaches to distribution reliability requirements, taking into account different source data. Describes the main stages of determining the value of a special object, functional-topological method applicable in conditions of limited source data. The mathematical model of the distribution of requirements to reliability of systems of a special object, depending on their degree of importance.

Key words: distribution reliability requirements, the reliability index, the importance of the special facility functional studies.

Gera V.I., Kalmykov E.V., Mosyagin R.A. To the question of the formation of the optimal composition of calculations for maintaining the readiness of the energy-mechanical equipment // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 153–159.

When creating complex organizational and technical systems completion of formation the image its technical and functional structures there is a problem of formation of the organizational structure that will implement the technological process in the object. The solution of this kind of the problem

is presented in the article. The purpose of the article is algorithm which allows determinate optimal composition, which is a performed exploitation event in the minimum time. This problem may occur not only when entering into the exploitation new facilities, but also in the performance of the unscheduled work, changing (optimization) standard structure of a crew.

Key words: the maintenance, the device, the distribution of specialists, the qualification, the technological graphic.

Stabilization of the ratio of fuel components in rocket engine chambers through the use of a combined fuel consumption control system / S.Y. Gerasimenko, V.A. Gribakin, A.S. Perfiliev, A.E. Sultanov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 160–166.

The basic results of theoretical and experimental researches on justification of applicability of methods of control of properties of the composition of the combustion products sensitive to change of the ratio of components of fuel for realization of the combined control system of fuel consumption in a problem of stabilization of the ratio of components of fuel in chambers of rocket engines are stated. The main advantages of the combined fuel consumption control system in relation to improving the energy characteristics of launch vehicles are formulated.

Key words: managing fuel consumption, specific impulse, energy performance, launch vehicle, spectrum of acceleration.

Assessment of trends and changes in the structure of the parametric series of rockets in the conditions of increasing the number of launches of small satellites / V.A. Gribakin, I.A. Dema, A.S. Perfiliev, S.Y. Pirogov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 167–171.

The change in the structure of the masses of payloads carried by carrier rockets into specified orbits requires the adoption of adequate decisions on the formation of a system of spacecraft launch vehicles and determining the optimal parametric series of launch vehicles. Using an approach that allows to calculate the structure of the parametric series of launch vehicles, the results of the formation of such a series for the case without taking into account the segment of small spacecraft and taking into account this segment are analyzed. It is shown that ignoring the development of the segment of small spacecraft and the lack of appropriate launch vehicles can lead to a significant increase in the cost of implementing space research programs.

Key words: boosters, parametric range, small spacecraft.

Gribakin V.A., Perfiliev A.S., Pirogov S.Y. Method of estimating the aerodynamic characteristics of the detachable parts of carrier rockets // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 172–179.

The article presents an analysis of the main problems associated with modeling the motion of separable parts of launch vehicles in the area of uncontrolled descent in the Earth's atmosphere after separation. The modes of motion of the separated parts are analyzed, it is shown that the separated parts make an uncontrolled flight in a wide range of Mach numbers and angles of attack. Methods of determination of aerodynamic characteristics of the separated parts are considered, their advantages and shortcomings are resulted. On the basis of the analysis of methods of calculation of aerodynamic characteristics of the separated parts the combined method of calculation including use of both the generalized data on circular aerodynamic characteristics of cylindrical bodies of rotation, and use of point estimates of aerodynamic coefficients by means of engineering and numerical methods is offered.

Key words: detachable part of the carrier rocket, the aerodynamic characteristics.

Dyakov A.N. The calculation model of operational and economic efficiency // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 180–189.

At the present stage of development of technologies of production and operation an important role have requirements for performance indicators, not only the use of weapons, but also maintain its healthy state. The requirements of a number of standards indicate the necessity of application, as one of the indicators, operational and economic efficiency, however, the methodology of calculation of the specified indicators in these documents is not given. Perhaps the use of different methods and models of calculation, as an indicator of readiness and cost. While the proposed article implements a model based on these two pairs of indicators based on a unified methodology of calculation, ensuring their correlation between themselves and the adequacy of the model as a whole. Suggested in the article the model of calculation of operational and economic efficiency in contrast to the known implements of the availability and costs of operating parameters on the single scientific-methodical base. Except for the calculation of this indicator model can be used in conjunction with known optimization methods for selecting the optimal system operation of the unit, resulting in lower costs when the required rate of readiness. The article provides an example calculation.

Key words: operational efficiency, resource capacity operational processes, calculation of availability function.

Zagorniy S.V., Mironov A.N., Shestopalova O.L. Justification of approaches to the construction of risk forecasting models for complexes of refueling a space application // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 190–196.

The necessity of improving the scientific and methodical support for the decisions made in the operation of the spacecraft refueling complexes under the influence of the factors that generate the occurrence and development of contingencies is substantiated. Approaches to the construction of risk prediction models in the event of abnormal situations on the complexes of refueling space rockets in conditions of complete and partial structural uncertainty are proposed.

Key words: operational safety, emergency situation, risk assessment, uncertainty, linguistic probability, risk modeling.

Methods for generating random processes of changing the effluent discharge of water disposal systems / V.S. Ivanovskiy, N.V. Kuznetsova, N.N. Penkina, M.A. Spivakov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 197–203.

The presented method of generation of random processes of change in wastewater discharge of combined sewerage systems with the following features: the adoption of a probability statistical model of the change in the states of the system; acceptance as a characteristic of a non-stationary random process of the probability of transitions from the current state to the next; determination based on the analysis of statistical information of the functional dependence for the probability density of the transitions $f(j)$ from the current i -th state to the subsequent j -th state, etc.

Key words: random process, sewage pumping stations, combined sewerage systems, sewage, reliability, wastewater discharge.

The rationale for the special structures protection estimated degrees in terms of the enemy's conventional precision weapons impact / S.Y. Karasyov, G.S. Ladyshkin, D.V. Surin, A.M. Shevchuk // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 204–208.

The proposed new method for determining protection levels special facilities on the classification of the enemy's conventional weapons estimated calibers. The result of the work are identified

requirements for the degree of protection special structures, depending on the estimated induced of weapons.

Key words: caliber, defeat, degree of protection.

Kulganov V.A., Svitnev I.V., Sokolov D.A. Physico-chemical features of aerosol-forming compounds and their use in the training and combat activities of aerospace forces // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 209–218.

The military and landfill experience shows that the effectiveness of conducting aerosol masking activities is mainly determined by the optimal combination of technological capabilities and tactical schemes for the combat use of aerosol countermeasures technical equipment, on the one hand, and the operational and technical indicators and aerosol-forming capacity of the aerosol formulations used (AOS) with other. In this connection, they acquire a special role. This article is devoted to the study of their masking and physico-chemical properties.

Key words: aerosol-forming compositions, masking abilities, pyrotechnic composition, self-fouling, chemocondensation aerosols; physical and chemical indicators.

Markin D.V. Model of the process of determining complex value of telemetry parameters carrier rocket // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 219–224.

Presents the results of modeling the process of determining the complex significance of telemetry parameters of launch vehicles for selecting the optimal method for their protection are presented. Based on the results obtained, it is possible to determine the directions for searching algorithms and techniques for determining parameters that must be protected against leakage and parameters that can be transmitted without the use of protective equipment.

Key words: complex significance, carrier rocket, telemetry parameters.

Plotkina V.A., Starodubtcev P.A. Study of the effect of three types of searches surface options teen so in a turbulent boundary layer // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 225–233.

The article discusses the relevance of the study of surface roughness. This direction is complemented by studies of the roughness of surfaces with different height of detail. Allocated and describes the features of influence of surface roughness on flow characteristics in a turbulent boundary layer.

Key words: turbulence, boundary layer, friction resistance, roughness of the surface, a perforated surface, the abrasive surface of the grid.

Cherepanov N.M., Shaimardanov A.M. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 234–239.

A method is proposed based on obtaining a mathematical model in finite increments with respect to an established regime, which makes it possible to determine the sufficient conditions that are close to necessary and sufficient, and in some cases coinciding, conditions for the stability of systems with pulse-width modulation.

Key words: stability, asymptotic stability, pulse-width modulation.

Kazahov B.D., Kolyagin D.A., Shalov E.V. Some directions of improvement of quality of preparation of the listeners trained under magistracy programs in military-space academy of name A.F. Mozhaisky at transition to new federal state educational standards // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 240–245.

In article on the basis of the analysis of some laws and acts, the state total certification listeners of a magistracy in 2017, possible ways of improvement of quality of preparation are considered listeners, influence of complex tactical problems and command-staff games on formation is shown competences, defined by the federal state educational standard of the higher formations (FSESHP).

Key words: federal state educational standard of the higher formations, the competence, military education, research activity.

Kazakova I.B. The main peculiarities of the initial stage of the inquest of the intentional destruction or damage of the military stores by common dangerous means (by explosion) abstract // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 246–256.

In the article the main direction of the inquest of the intentional destruction or damage of the military stores by common dangerous means – by explosion is determined. The peculiarities of the examination procedure of the incident peace are enumerated. Several particular tasks of the initial stage of the incident peace examination according to the sequence of their realization has been formulated. It is noted that the order of the inquirer's actions at the incident peace is caused by the particular tasks mentioned above. The author gives the characteristic of several inquest actions such as: interrogatory of the witnesses, search, examination, seizure of technical documents, making of examination, etc. Their peculiarities in the process of the crime inquest are also given.

Key words: military stores, explosion, explosive equipment, common dangerous means, incident peace examination.

Losik A.V., Rozanova L.V., Sherba A.N. The research and designer activity of teachers and graduating students of 2nd Cadet corps in areas of artillery, engineering and rocket production in XVIII-XIX centuries // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 257–266.

The military, engineer and scientifically-designer activity of teachers and graduating students of 2nd Cadet corps is analysed. Their contribution to strengthening of defensive capacity of Russia is shown. Information about the works, executed in areas of creation, improvement of artillery weapons and rocket production is given.

Key words: artillery, school of Engineering, Artillery and engineering cadet corps, 2nd Cadet corps.

Ogorodnikov V. P. Economic-political and ideological determinants of modern warfare // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 267–275.

This article discusses the causes, conditions and other factors, define threat of modern warfare. Analyses the different conceptual schemes eliminate this threat. In this context, is subjected to critical analysis of the theory of postindustrial, information society. Shows that this concept is based on the idea of technological determinism that defines the evolution of technology and the technology of production of material and spiritual goods as the main and almost sole determinant of social development. The author proves that the real history of the society technical and even technological progress never automatically give progress the social, not guarantee social equity and not protecting people from war. On the contrary, the technical development, detached from the development of industrial relations, continually led and leads to the aggravation of all political and social conflicts, militarization of society and military confrontation.

Key words: war, peace, social equality, social contradictions, technique and social revolution, the productive forces, industrial relations, social justice and equality, technological determinism.

Repyakh N.A., Hrustova A.N. Humanism of cosmophilosophical ideas N.F. Fedorov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2018. – Release 660. – P. 276–281.

The publication is devoted to the consideration of the ideas of the ancestor of the unique cosmic direction of the philosophical thought of Russia N.F. Fedorov. The focus of the thinker of the problem of the active-evolutionary transformation of the universe on the basis of reason and moral sense.

Key words: Russian cosmism, «philosophy of common cause», space expansion, resurrection, science, regulation of nature.

Абраменков Виктор Васильевич, профессор кафедры Военной академии войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского (214027, Россия, Смоленск, ул. Котовского, 2); заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (905) 699-67-35.

Ардашов Август Анатольевич, старший преподаватель 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Белянин Дмитрий Геннадьевич, преподаватель 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 752-45-25.

Бережной Игорь Владимирович, доцент 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: berezhnoy-igor@yandex.ru

Бессольцев Виталий Евгеньевич, адъюнкт 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 252-47-16, e-mail: v.bessoltsev@gmail.ru

Вознюк Валерий Васильевич, доцент 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: vvvbox@rambler.ru

Воронин Алексей Евгеньевич, адъюнкт 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 023-30-88, e-mail: voroninalex87@yandex.ru

Гаврилов Анатолий Дмитриевич, профессор кафедры Военной академии войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского (214027, Россия, Смоленск, ул. Котовского, 2); заслуженный военный специалист Российской Федерации, доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (910) 767-17-31.

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, e-mail: geratv33@mail.ru

Герасименко Сергей Юрьевич, старший инженер команды комплекса АСУ технологического оборудования универсального стартового комплекса и энергоснабжения войсковой части 13973 (164170, Россия, Архангельская обл., г. Мирный); тел.: 8(921)2902507, e-mail: gerasimenko-sergey61@mail.ru

Горянский Александр Сергеевич, начальник 952-й учебной лаборатории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 145-07-80, e-mail: gorynskiy@mail.ru

Грибакин Владимир Александрович, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (961) 801-76-75.

Дёма Игорь Анатольевич, научный сотрудник 172-й лаборатории научно-исследовательской 17-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 911-03-54.

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

Загорный Сергей Владимирович, старший преподаватель 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: zag.serg@mail.ru

Ивановский Владимир Сергеевич, начальник Главного управления военной полиции Министерства обороны Российской Федерации (119160, Россия, Москва, ул. Знаменка, 19); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (495) 696 73 82, e-mail: ya.na1290@yandex.ru.

Казакова Илона Борисовна, заместитель руководителя Следственного отдела по городу Балашихе Главного следственного управления Следственного комитета России по Московской области (143900, Россия, Московская область, г. Балашиха, ул. Свердлова, 15/3); тел.: 8(968) 400-01-19, e-mail: edviga@mail.ru

Казахов Батраз Джумаевич, начальник 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (951) 664-50-26.

Калинин Владимир Николаевич, профессор 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского и Санкт-Петербургской инженерной академии, член-корреспондент Международной инженерной академии, Российской инженерной академии, Международной академии информатизации; тел.: 8 (812)347-95-08, e-mail: kvn.112@mail.ru

Калмыков Евгений Витальевич, курсовой офицер-преподаватель 4-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 263-95-36, e-mail: ek9112639536@yandex.ru

Карасёв Сергей Юрьевич, начальник 153-й лаборатории научно-исследовательской – старший научный сотрудник 15-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 (981) 954-74-02.

Карин Александр Иванович, научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-51, e-mail: a.karin@yandex.ru

Карин Сергей Александрович, докторант 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-51, e-mail: karin-sergey@yandex.ru

Карытко Анатолий Александрович, преподаватель 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 841-34-95, e-mail: kurok134@yandex.ru

Качура Ярослав Олегович, курсант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-55, e-mail: hokka0039@mail.ru

Квасов Михаил Николаевич, адъюнкт 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 862-37-26, e-mail: kvasov_mn@mail.ru

Кобзарев Игорь Михайлович, адъюнкт 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 235-84-94, e-mail: kobzaryan@mail.ru

Колягин Дмитрий Александрович, преподаватель 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (921) 658-51-28, e-mail: etoya10@bk.ru

Копкин Евгений Вениаминович, профессор 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (921) 961-13-38; e-mail: kopkins@mail.ru

Косяков Евгений Николаевич, профессор 35-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: e-kosyakov@yandex.ru

Кузнецова Наталия Викторовна, ведущий инженер ООО АВив, (196105, Россия, Санкт-Петербург, ул. Решетникова, д.15, лит. А, п. 58Н, оф. 411); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 376-59-99, e-mail: natalyakuznetsova.aviv@yandex.ru

Кулганов Владимир Александрович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор медицинских наук; тел.: 8 (812) 347-96-93, e-mail: kulganof@mail.ru

Куценко Егор Владимирович, 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: nategoru@mail.ru

Ладышкин Григорий Сергеевич, старший научный сотрудник 252-й лаборатории научно-исследовательской 25-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 (951) 681-86-72.

Лосик Александр Витальевич, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайско-

го (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 431-06-95, e-mail: nestorklio@mail.ru

Лукьянов Роман Васильевич, адъюнкт Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 984-79-29, e-mail: lukacrv@mail.ru.

Майбуров Дмитрий Генрихович, докторант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (911) 710-37-74.

Мальцев Георгий Николаевич, профессор 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: (921)324-20-03, e-mail: georgy_maltsev@mail.ru

Маркин Дмитрий Викторович, заместитель начальника службы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-55, e-mail: vka@mil.ru

Марков Павел Николаевич, адъюнкт 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 252-47-16, e-mail: markovPN@yandex.ru

Миронов Андрей Николаевич, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-74, e-mail: mirovov-anik@yandex.ru

Мосягин Роман Александрович, заместитель начальника 4-го факультета по учебной и научной работе Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат политических наук; тел.: 8 (981) 838-61-88, e-mail: mosyagin1@yandex.ru

Новиков Александр Николаевич, доцент 96-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-61, novalloll@mail.ru

Огородников Владимир Петрович, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор философских наук, профессор; тел.: 8(951) 668-24-86; e-mail: ogo-vladimir@yandex.ru

Пенкина Наталия Николаевна, старший преподаватель кафедры квантовой механики Санкт-Петербургского государственного университета (198504, Россия, Санкт-Петербург, Петергоф, ул. Ульяновская, 3); кандидат физико-математических наук, доцент; тел.: 8 (812) 428-44-01, e-mail: natalia.penkina@mail.ru

Перфильев Александр Сергеевич, заместитель начальника 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (904) 600-27-06.

Пешехонов Николай Егорович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 224-59-48, 8 (812) 347-95-44, e-mail: peshehonov@bk.ru

Пирогов Сергей Юрьевич, начальник 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (964) 334-01-52, e-mail: kafedra17@rambler.ru

Плоткина Виктория Александровна, преподаватель Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени С.О. Макарова (690062, Россия, Владивосток, Камский переулок, 6); e-mail: vika_plotkina@mail.ru

Пророк Валерий Ярославович, профессор 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (911) 161-00-95, e-mail: val_prorok@mail.ru

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, доцент; тел.: 8 (911) 990-02-38, e-mail: utkinodacha@yandex.ru

Розанова Людмила Владимировна, научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-31.

Сазонов Константин Викторович, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 252-47-16, e-mail: srv203456@yandex.ru

Сакулин Евгений Александрович, начальник 572-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 (921) 984-42-04, e-mail: evgeniysakulin@yandex.ru

Сапрыкин Денис Игоревич, курсант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-55, e-mail: hokka0039@mail.ru

Сасункевич Александр Анатольевич, преподаватель 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-21, e-mail: saa-soso@rambler.ru

Свитнев Игорь Владимирович, доцент 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-93.

Смагин Владимир Александрович, профессор 96-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-61, va_smagin@mail.ru

Соколов Дмитрий Александрович, адъюнкт 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-93, e-mail: falcon.85@bk.ru

Софьин Алексей Петрович, доцент 114-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-89, e-mail: as-114@yandex.ru

Спиваков Михаил Александрович, директор Дирекции экспертизы и проектирования ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» (191015, Россия, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 42); тел.: 8 (812) 305-09-09, e-mail: Spivakov_MA@vodokanal.spb.ru

Стародубцев Павел Анатольевич, заведующий кафедрой физики Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени С.О. Макарова (690062, Россия, Владивосток, Камский пер., 6); тел.: 8 (914) 068-21-23, e-mail: spa1958@mail.ru

Султанов Алексей Эдыгарович, старший преподаватель 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-13, e-mail: vka@mil.ru

Сурин Дмитрий Васильевич, профессор 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); заслуженный деятель науки и техники, академик Академии военных наук, доктор технических наук; тел.: 8 (963) 248-41-11.

Фалеев Пётр Анатольевич, старший преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-55, e-mail: hokka0039@mail.ru

Фёдорова Людмила Анатольевна, доцент 114-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-89, e-mail: kingalya@mail.ru

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

Черепанов Никита Михайлович, курсант 241-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-2, e-mail: wintyhead@gmail.com

Шадрин Александр Геннадьевич, преподаватель 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: ag_shadrin@mail.ru

Шаймарданов Альберт Миргасимович, преподаватель 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-27, e-mail: alekseev-ivan@rambler.ru

Шалонов Евгений Владимирович, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по работе с личным составом – начальник отдела (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (965) 039-46-99.

Шевчук Андрей Михайлович, начальник 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 911-46-92.

Шестопалова Ольга Львовна, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 328-03-82, e-mail: neman2004@mail.ru

Ширямов Олег Анатольевич, адъюнкт 96-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-61, shiryamov_oa@mail.ru

Щерба Александр Николаевич, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 459-65-51, e-mail: a.n.sherba@mail.ru

Абсалямов 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

Алексеев Тимофей Владимирович, профессор 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-04.

Багрецов Сергей Алексеевич, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

Басыров Александр Геннадьевич, начальник 24-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

Богачёв Сергей Алексеевич, 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.

Булекбаев Дастанбек Абдыкалыкович, заведующий 111-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-07.

Гера Василий Иосифович, начальник 4-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-40.

Гончаренко Владимир Анатольевич, профессор 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-24.

Гранкин Борис Константинович, профессор 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-14.

Грудинин Игорь Владимирович, профессор 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 742-47-65.

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

Козлов Владимир Владимирович, профессор 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: kozlov@yandex.ru

Кремез Георгий Вальтерович, старший научный сотрудник 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-24.

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.

Наумчик Игорь Васильевич, начальник 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-18.

Новиков Владимир Александрович, профессор 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-87.

Огородников Владимир Петрович, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор философских наук, профессор.

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.

Осипов Никита Алексеевич, заместитель начальника 26-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-26.

Паршуткин Андрей Викторович, профессор 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-35.

Петрушин Игорь Евгеньевич, доцент 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-43.

Пирогов Сергей Юрьевич, начальник 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-25, e-mail: pirogov205@mail.ru

Попов Александр Сергеевич, старший научный сотрудник 23-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

Садин Дмитрий Викторович, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-11, e-mail: sadin@yandex.ru

Сазонов Константин Викторович, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-54, e-mail: srv203456@yandex.ru

Силантьев Сергей Борисович, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Смагин Владимир Александрович, профессор 75-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

Тарасов Анатолий Геннадьевич, заместитель начальника 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Цветков Кирилл Юрьевич, начальник 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-97-25.

Чарушников Александр Валерьевич, начальник 2-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-21.