

Т Р У Д Ы
ВОЕННО-КОСМИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ
имени А. Ф. Можайского

Под общей редакцией
доктора технических наук,
профессора **Ю.В. Кулешова**

В ы п у с к 646
Март

Издается с 1942 года



Санкт-Петербург
2015

УДК 355.232.6:629.78
ББК 68.55
В 634

Р е д к о л л е г и я:

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;
А.И. Замарин, доктор техн. наук, проф.; **Г.Н. Мальцев**, доктор техн. наук, проф.;
К.Ю. Цветков, доктор техн. наук, проф.; **Ю.С. Мануйлов**, доктор техн. наук, проф.;
А.Г. Ломако, доктор техн. наук, проф.; **В.В. Козлов**, доктор техн. наук, проф.;
В.Н. Арсеньев, доктор техн. наук, проф.; **В.Ф. Алексеев**, доктор техн. наук, доц.;
Г.Д. Петров, доктор техн. наук, проф.; **В.Н. Кузьмин**, доктор воен. наук, проф.;
В.Н. Калинин, доктор техн. наук, проф.; **А.П. Алёшкин**, доктор техн. наук, проф.;
И.Ю. Еремеев, доктор техн. наук, проф.; **М.А. Еремеев**, доктор техн. наук, проф.;
А.В. Паршуткин, доктор техн. наук, доцент; **А.В. Чарушников**, доктор воен. наук, доц.;
В.В. Клейменов, доктор техн. наук, проф.; **Н.Ф. Аверкиев**, доктор техн. наук, проф.;
Т.О. Мысливцев, доктор техн. наук; **А.В. Харченко**, доктор техн. наук, доц.;
Н.С. Кужекин, кандидат филос. наук, проф.; **Н.Б. Кунтурова**, доктор пед. наук, проф.;
Н.А. Репях, кандидат филос. наук, доц.; **Т.В. Алексеев**, доктор истор. наук, доц.

Ответственные за выпуск:
заведующий РИО **С.В. Чернышёв**,
начальник ОВТИ **А.А. Диголь**

Техническая поддержка:
Н.А. Станкевич

В 634 **Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.**
Выпуск 646 / под ред. Ю.В. Кулешова; редкол.: Ю.В. Кулешов,
И.В. Сахно, С.Г. Алёхин и др.; ответственные за вып.: С.В. Чернышёв,
А.А. Диголь; техническая поддержка: Н.А. Станкевич. – СПб.: ВКА имени
А.Ф. Можайского, 2015. – 232 с.

В издании представлены материалы по различным направлениям научных исследований, проводимых учеными академии и представителями сотрудничающих военных вузов и научно-исследовательских организаций.

Материалы Трудов могут быть полезны научным сотрудникам, преподавателям, слушателям, адъюнктам и докторантам.

УДК 355.232.6:629.78
ББК 68.55

© ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015

Подписано к печ. 16.03.2015
Гарнитура Times New Roman
Печ. л. 58,00

Формат печатного листа 445×300/4
Авт. л. 28,75
Заказ 2980

Бесплатно

Типография ВКА имени А.Ф. Можайского

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Вечеркин В.Б., Анисимов И.И.</i> Подход к оцениванию живучести систем управления войсками.....	6
<i>Вечеркин В.Б., Фалеев П.А.</i> Метод формирования многомерной модели данных в интересах автоматизированной обработки и анализа информации.....	9
<i>Каргин В.А., Скороходов Я.А.</i> Оценивание нелинейных зависимостей при обработке телеметрической информации по статистике пересечений заданных уровней.....	13
<i>Минаков Е.П., Бугайченко П.Ю.</i> Модель оценивания вероятности пролета орбитального объекта через зону видимости пункта, расположенного на поверхности Земли.....	24
<i>Шмелёв В.В.</i> Корпоративная информационная система автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракеты космического назначения.....	29
<i>Шмелёв В.В., Ткаченко В.В.</i> Систематизация требований к разработке перспективных аппаратно-программных комплексов обработки телеметрической информации ракетно-космической техники.....	38

СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ

<i>Андреев А.М., Махров К.Б., Пучкова И.А.</i> Реализация турбо-кодирования в космических системах передачи данных на основе международного стандарта CCSDS.....	46
<i>Кравцов А.Н., Мышко В.В., Ткаченко В.В.</i> Элементы методологии управления техническим состоянием космических средств.....	55
<i>Рагимов Э.А., Андриевская В.Ю., Алексеев А.В.</i> Применение автономных средств поддержки и коррекции данных спутниковых навигационных систем.....	63
<i>Фоминов И.В., Королев С.Ю., Зоткин М.Ю.</i> Теоретический подход к созданию интегрированных навигационных систем с адаптивной комплексной обработкой информации.....	68
<i>Широбоков В.В., Шинкаренко А.Ф.</i> Подход к организации межспутникового взаимодействия в распределенной вычислительной структуре орбитальной группировки микроспутников.....	77

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Вознюк В.В., Богаченков К.Н., Маслаков П.А.* Особенности создания помех компенсационного типа для решения задач защиты информации от утечки по техническим каналам..... 83
- Грызунов В.В.* Модель информационно-вычислительной системы, деградирующей в условиях информационно-технических воздействий..... 93
- Котенок А.А., Теренин А.Е., Кутузов Е.Л.* Подход к расчету эффективности психологического воздействия средств массовой информации на военнослужащих..... 103
- Красновский В.Н., Теренин А.Е., Кутузов Е.Л.* Модель психологического воздействия в информационно-телекоммуникационных системах..... 107

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Семенухин В.К., Кириченко Д.В., Рыжих А.А., Лутов И.О.* Варианты баллистического построения орбитальной системы контроля космических объектов в ближней зоне околоземного космического пространства..... 112

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

- Авсюкевич Д.А., Сударь Ю.М.* Разработка оптимальной структуры систем управления вентиляцией сооружений наземных комплексов на основе теории сложности..... 117
- Алексеев К.В., Добролюбов А.Н., Лебедев А.С., Мохнаткин Д.П.* О возможности применения магнитного метода неразрушающего контроля для оценки напряженности и остаточного ресурса металлических силовых конструкций объектов наземной космической инфраструктуры..... 124
- Гончаренко В.А.* Метод обоснования производительности информационно-вычислительных систем реального времени с учетом неопределенности параметров..... 128
- Горбулин В.И., Радионов Н.В., Каргу Д.Л., Комаров П.А., Астахов Н.Н.* Определение ориентации космического аппарата по измерениям засветки тестовых блоков солнечных батарей..... 134
- Логунов С.В., Королев В.О., Фролов Д.В., Гудаев Р.А.* Метод обработки и анализа результатов спектрофотометрических измерений вращающихся геостационарных космических аппаратов..... 139
- Ляшевский А.В., Ведерников М.В.* Томографическое исследование процесса старения смесового твердого ракетного топлива..... 147
- Пеньков М.М., Ханков С.И., Мосин Д.А., Уртминцев И.А., Лаповок Е.В.* Метод измерений степени черноты поверхностей образцов без использования вакуумной камеры в стационарном тепловом режиме..... 155

<i>Поletaев А.М., Лазутин Р.Ю.</i> Анализ принципов построения и режимов функционирования космических систем радиолокационного наблюдения.....	159
<i>Суворов Р.В.</i> Методика обоснования рациональных параметров системы энергоснабжения космического аппарата, оснащенного специальным бортовым комплексом.....	170
<i>Тарасов А.Г., Самсонов Ф.А., Цветков А.Ю.</i> Структура автоматизированной системы подготовки и пуска ракет космического назначения с применением робототехнических средств.....	180

ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<i>Репях Н.А., Хрустова А.Н.</i> Самостоятельная работа в современном образовательном процессе: пути и способы активизации.....	186
<i>Чистяков С.В., Пауков А.Б., Федоров Д.А.</i> О совершенствовании системы подготовки командиров курсантских подразделений академии.....	193
<i>Пауков А.Б., Инюшева Е.А.</i> К вопросу о таксономии целей занятий по боевой подготовке.....	197

ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК

<i>Горшков М.А., Окунев С.Ю.</i> Некоторые аспекты формирования критического мышления курсантов военной академии в ходе изучения учебной дисциплины «Военная история».....	201
<i>Дмитриева И.Ю.</i> Влияние индивидуальных психофизических особенностей личности на успешность восприятия и запоминания иноязычной лексики.....	206
<i>Порошина Г.В., Коваль П.А.</i> Оценивание текущей социально-психологической обстановки.....	211
Рефераты статей.....	216
Сведения об авторах.....	223
Сведения о рецензентах.....	230

В.Б. Вечеркин,
кандидат военных наук, доцент;
И.И. Анисимов

ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ

В статье описан подход к оцениванию живучести систем управления войсками, базирующийся на логико-вероятностном подходе к исследованию живучести организационно-технических систем и использовании цепей Маркова, позволяющий дать оценку вероятности нахождения систем управления в работоспособном состоянии после определенного количества неблагоприятных воздействий.

Ключевые слова: живучесть, система управления, марковский процесс, анализ живучести.

Модель живучести такой сложной организационно-технической системы, как система управления войсками (СУВ), по определению состоит из совокупности большого числа согласованных частных моделей различного назначения, использующих для описания протекающих в системе управления процессов как детерминированные, так и вероятностные методы [1].

Множество факторов, определяющих порядок построения модели живучести СУВ, можно условно разделить на три группы. В первую группу входят факторы, характеризующие воздействия на систему (неблагоприятные внешние воздействия, условия окружающей среды и т. д.). Вторую группу образуют факторы, характеризующие отдельные элементы СУВ и ее структуру в целом с точки зрения живучести, а третью составляют факторы, характеризующие целевые и алгоритмические аспекты функционирования СУВ – природа данных факторов в большинстве случаев имеет стохастическую основу, требующую применения логико-вероятностных моделей живучести [2].

Учитывая указанные обстоятельства, на основании предложенного в работе [3] подхода к оцениванию живучести сложных организационно-технических систем, в качестве основного показателя живучести СУВ $P_{жс}$ может быть использован показатель оценивания живучести по результатам выполнения целевых задач, $P_{жс} = P(\{Z_i\}, T, Q, B)$ – вероятность выполнения СУВ текущего набора целевых задач $\{Z_i\}$ на заданном промежутке времени – T , в определенных условиях действия неблагоприятных внешних воздействий (НВВ) – Q и окружающей среды – B .

Будем полагать, что вне зависимости от интенсивности процессов выполнения целевых задач в системе и внешних условий функционирования СУВ каждый раз, при действии на нее НВВ, за счет функционирования своей подсистемы обеспечения живучести (ПОЖ), в конечном счете, будет переходить в одно из следующих устойчивых состояний (или останется в прежнем): 1 – работоспособное, выполнение задач без ограничений (система управления живуча); 2 – работоспособное, выполнение задач с ограничениями (система управления ограниченно живуча); 3 – неработоспособное, возможно восстановление работоспособности (система временно неживуча); 4 – неработоспособное, восстановление системы нецелесообразно (система поражена).

Тогда, в случае однократного НВВ на систему управления, при определенных допущениях можно считать: $P(\{Z_i\}, Q, B, T) = P\left(\bigcap_{j=1}^m E_j\right) = \prod_{j=1}^m P(E_j)$, где E_j – событие, состоящее в связности j -й двухполюсной сети графа $G(A, B)$, отражающего j -ю подсистему СУВ, обеспечивающей передачу и реализацию вида управляющих воздействий, m – количество

не зависимых между собой контуров управления, анализируемых согласно установленной технологии управления.

В случае многократного действия НВВ на СУВ и учете следующих допущений: ПОЖ допускает развитие вторичных последствий только на интервале времени t , значительно меньшем чем T ; учетом предыдущих состояний СУВ с момента ее перехода в последнее устойчивое состояние можно пренебречь; для любого устойчивого состояния системы можно определить условные вероятности перехода СУВ в новые устойчивые состояния после каждого действия НВВ, траекторию эволюции системы управления от состояния живучести до состояния неживучести можно смоделировать цепью Маркова [4]. При этом функционирование СУВ будет рассматриваться только в дискретные моменты времени, однозначно соответствующие моментам действия НВВ.

Тогда пространство состояний СУВ будет задаваться графом, представленным на рис. 1.

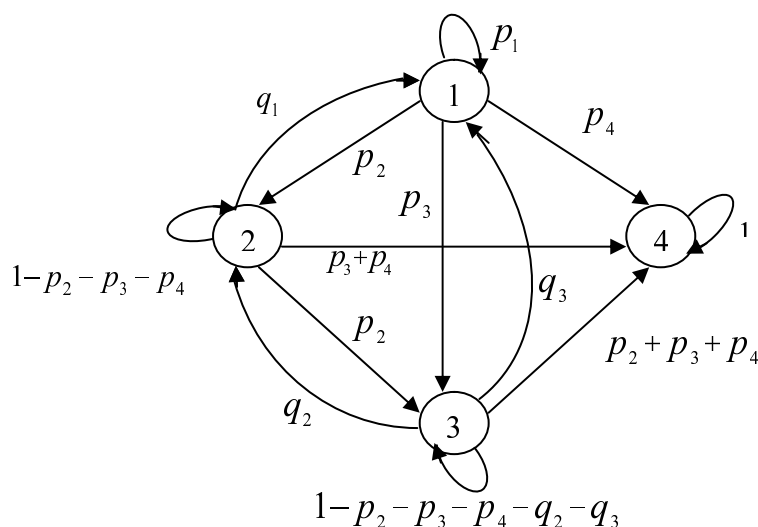


Рис. 1. Граф пространства состояний СУВ в случае определения состояния системы управления набором выполняемых задач

При этом неблагоприятное внешнее воздействие на интервале времени T задается распределением вероятностей p_1, p_2, p_3, p_4 , соответствующих вероятностям перехода СУВ в указанные четыре состояния ($p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1$); q_1 — вероятность восстановления полной работоспособности СУВ из состояния ограниченной работоспособности; q_2 — вероятность восстановления ограниченной работоспособности СУВ; q_3 — вероятность восстановления полной работоспособности СУВ из состояния восстановления.

Вероятности p_1, p_2, p_3, p_4 определяются на основании оценивания соответствующих $P(E_j)$, получаемым по отдельным методикам, например предложенным в работе [2].

Данный принцип моделирования траектории эволюции СУВ в пространстве состояний позволяет найти три важные, с точки зрения оценивания живучести сложных организационно-технических систем, вероятности [4]:

А. Вероятность перехода СУВ из состояния i в состояние j за n шагов. Она оценивается через уравнение Колмогорова – Чепмена: $p_{ij}(n) = \sum_d p_{id}(m) \cdot p_{dj}(n-m)$, где $p_{ij}(n)$ — вероятность перехода системы из i в j за n шагов; $p_{id}(m)$ — вероятность перехода системы из i в d за m шагов; $p_{dj}(n-m)$ — вероятность перехода системы из d в j за $n-m$ шагов.

Или в матричных обозначениях: $P_{(n)} = P_{(m)} \times P_{(n-m)}$, где $P_{(0)}$ – единичная матрица. При этом по свойству коммутативности произведения матриц и с учетом $m = 1$ следует, $P_{(n)} = P \times P_{(n-1)} = \dots = P^n$.

Б. Вектор $\pi(n)$ вероятностей состояний СУВ через n шагов, где $\pi(n) = (\pi_1(n), \pi_2(n), \dots, \pi_N(n))$, N – количество возможных состояний СУВ, $\pi_i(n)$, $0 \leq i \leq n$.

Вероятность нахождения системы в i -м состоянии через n шагов, находится по формуле полной вероятности: $\pi_j(n) = \sum_i \pi_i(0) \cdot p_{ij}(n) = \sum_i \pi_i(n-1) \cdot p_{ij}$. Или в векторной форме:

$\pi(n) = \pi(0) \cdot P(n) = \pi(n-1) \cdot P$. Если $\pi(0) = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$, то $\pi(n) = (P^n)_i$ – вектор вероятностей состояний системы через n шагов при ее выходе из i -го состояния равен i -й строке матрице P^n .

В. Вероятность первого перехода системы из состояния i в j за n шагов: $P_{ij}^1(n) = \sum_{m \neq j} p_{im} \cdot p_{mj}^1(n-1)$, $\forall m = 1, 2, \dots, n-1$.

При этом вероятность перехода системы из состояния i в состояние j , не более чем за n шагов (т. е. за t шагов, $t \leq n$) можно оценить по формуле $p_{ij}(\leq t) = \sum_{n=1}^t p_{ij}^1(n)$.

Отдельно отметим, что установить конкретную траекторию эволюции СУВ удастся только в ходе имитационного моделирования. Данный подход к оцениванию живучести СУВ с использованием цепей Маркова, за счет оценки уровня трансформации задач по управлению, позволяет дать оценку вероятности нахождения СУВ в установленном состоянии после определенного числа НВВ.

Проведенный анализ живучести конкретных СУВ с использованием цепей Маркова показывает, что состояние СУВ после нескольких НВВ во многом определяется эффективностью проводимых мероприятий по обеспечению ее живучести и, в частности, возможностями ПОЖ, ибо процессы действия НВВ, развития последствий действия НВВ и процессы обеспечения живучести конкурируют друг с другом. Это, в свою очередь, дает возможность оценить характер и степень влияния на живучесть проводимых мероприятий обеспечения живучести.

Список используемых источников

1. Волков В.Ф., Цыбрин В.Г., Шаныгин С.И. Автоматизированные системы управления войсками: учебник: 2 ч. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – Ч. 1: Математическое обеспечение функционирования АСУВ. – 391 с.

2. Черкесов Г.Н., Можяев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем // Качество и надежность изделий. – 1991. – № 3 (15). – С. 3–64.

3. Вечеркин В.Б., Кубанков А.Н., Кузьмин В.Н. Подход к оценке живучести сложных организационно-технических систем // Труды II международной конференции по морским интеллектуальным технологиям. – СПб.: НИЦ «Моринтех», 1997. – Т.3. – С. 116–118.

4. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложение. – М.: Мир, 1984. – 751 с.

В.Б. Вечеркин,
кандидат военных наук, доцент;
П.А.Фалеев,
кандидат военных наук

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ В ИНТЕРЕСАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ

В статье рассмотрен путь формирования многомерной модели данных о состоянии и деятельности объекта космического комплекса, базирующийся на тензорном представлении и агрегации данных, позволяющий в режиме реального времени предоставлять атрибутивную информацию об объекте, необходимую для автоматизированного анализа информации в системах управления.

Ключевые слова: данные, процесс, многомерная модель, космический комплекс.

Широкое внедрение в практику работы должностных лиц и органов управления современных информационных и автоматизированных систем специального назначения обуславливает необходимость разработки и использования новых программно-реализуемых элементов методик оценки данных о состоянии и деятельности объектов управления. К их числу можно отнести частные методики анализа, визуализации и организации хранения информации о состоянии и деятельности разнородных объектов космических комплексов (КК) в условиях жестких временных ограничений по большому потоку входных данных.

В основу подобных методик можно положить методы оперативного анализа данных, основанные на многомерных моделях данных, позволяющих выявить зависимость сразу между несколькими параметрами объектов [1]. Причем в данных моделях с каждым измерением можно связать параметр функционирования объекта КК.

В настоящее время многомерные модели данных наиболее часто находят свое выражение в концепции хранилищ данных, реализуемых OLAP-системами, в соответствии с которой все данные делятся на две категории:

- элементарные данные, используемые в оперативной обработке;
- данные, используемые в оперативном анализе, образующие хранилище данных.

При этом достигается повышение оперативности анализа данных за счет их обобщения и обработки агрегированных объектов, расположенных в хранилище и используемых для выполнения неоднократных информационно-аналитических запросов [2]. Однако пока нет законченных и универсальных архитектурных решений по построению информационных и автоматизированных систем обработки и анализа информации, как нет и готовых программных продуктов, в которых с помощью многомерных моделей данных решается задача рациональной организации хранения и оперативного анализа информации о состоянии и деятельности разнородных объектов КК, функционирующих по большому потоку входных данных в режиме реального времени.

Отсутствие таких решений, на наш взгляд, связано с тем, что агрегированные данные в существующих технологиях оперативного анализа являются результатом применения элементарных арифметических операций и нахождения статистических характеристик (суммы; суммы квадратов значений параметра; среднего, максимального и минимального значений; стандартного отклонения; количества уникальных и пустых значений и др.). Данных показателей часто бывает недостаточно для принятия критически важных решений по объектам КК в режиме реального времени (например, об изменении состояния объекта КК в ходе прове-

дения предпусковых и предстартовых работ), включающего описания параметров всей совокупности элементов, входящих в объект и их взаимодействий.

Таким образом, при оперативном анализе данных эта задача в полной мере пока не решается, поскольку является одной из типовых задач интеллектуального анализа данных, требующей существенного расхода временного ресурса.

Выходом из сложившейся ситуации может являться расширение способов агрегации данных многомерной модели за счет вычисления инвариантов объекта КК, позволяющих в режиме реального времени предоставить атрибутивную информацию об объекте, необходимую для интеллектуального анализа данных.

Здесь под *инвариантом объекта КК* будем понимать совокупность атрибутивных характеристик объектов, определяемых относительно заданной системы координат в виде алгебраических выражений, неизменяющихся при преобразовании систем координат.

Сами инвариантные величины представляют собой такие атрибуты объекта, которые существуют объективно и не зависят от выбора системы координат. Значит, они определяют сущность объекта КК и могут являться источником скрытых знаний, возможно, даже неинтерпретируемых вербально, поэтому их нахождение равносильно формализации закона функционирования объекта [3].

Тогда процесс преобразования данных, согласно Эрлангенской программе Клейна, можно рассматривать как процесс преобразования систем координат [3, 4]. Этим можно постулировать принцип относительности обработки данных, заключающийся в эквивалентности представлений обработки f данных x, x' в выбранной неизменяемой системе координат R и преобразований g систем координат R, R' при неизменности исходных данных y :

$$\forall (x \in R, x' \in R)(f : x \rightarrow x') \forall (y \in R, y \in R')(g : R \rightarrow R') \Rightarrow (f \equiv g). \quad (1)$$

Следовательно, совокупность операций над данными можно заменить операциями преобразования координат объекта. Каждому виду геометрии (типу пространства) соответствует своя группа преобразований. В этом случае в пространстве можно определить геометрический объект, или экстенсив $Q_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n}$ порядка $n+m$ с n контравариантными и m ковариантными компонентами [5].

Это позволяет рассмотреть представление объекта КК в виде геометрического объекта, а его функционирование – как преобразование пространства состояний. Тогда, исходя из существующей структуры многомерной модели данных, измерения такого пространства $i_1, i_2, \dots, i_n, j_1, j_2, \dots, j_m$ будут соответствовать измерениям традиционной многомерной модели данных и параметрам функционирования объекта КК, координаты точки пространства $Q_{\beta_1 \beta_2 \dots \beta_m}^{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}$ – элементу геометрического объекта ($i_1 = \alpha_1, i_2 = \alpha_2, \dots, i_n = \alpha_n, j_1 = \beta_1, j_2 = \beta_2, \dots, j_m = \beta_m$) – упорядоченному набору значений атрибутивных параметров функционирования объекта, то есть его состоянию.

При этом наборы числовых атрибутов образуют пространство вещественных чисел – *евклидово* пространство, а наборы категориальных атрибутов – *аффинное* пространство.

Основными алгебраическими операциями над геометрическими объектами предлагаемой многомерной модели данных будут являться:

1. Сложение:

$$\forall (i_k \in I, j_l \in J) S_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n} = P_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n} + Q_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n}, \quad (2)$$

где I, J – соответственно множества контравариантных и ковариантных индексов.

2. Умножение на число:

$$\forall (\alpha \in R, i_k \in I, j_l \in J) S_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n} = \alpha \cdot P_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n}. \quad (3)$$

3. Произведение:

$$\forall (i_k \in I, j_l \in J) S_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n} = P_{j_1 j_2 \dots j_l}^{i_1 i_2 \dots i_r} \cdot Q_{j_{l+1} j_{l+2} \dots j_m}^{i_{r+1} i_{r+2} \dots i_n}. \quad (4)$$

При этом нахождение произведения формализует не количественное обобщение элементов объектов, а объединение их структур, т. е. формальными средствами описывает внутренние связи между элементами объектов, не выражаемые числом.

4. Подстановка индексов:

$$\forall (i_k \in I, j_l \in J) S_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_r \dots i_t \dots i_n} = P_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_t \dots i_r \dots i_n}. \quad (5)$$

Данная операция позволяет представлять формальными средствами информационные процессы в представлении самой структуры объекта КК.

5. Свертка:

$$\begin{aligned} \forall (i_k \in I, j_l \in J, n > m) S_{j_1 j_2 \dots j_{l-1} j_{l+1} \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_{r-1} i_{r+1} \dots i_n} &= P_{j_1 j_2 \dots j_{l-1} j_{l+1} \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_{r-1} i_{r+1} \dots i_n} = \\ &= P_{j_1 j_2 \dots j_{l-1} j_{l+1} \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_{r-1} 1 i_{r+1} \dots i_n} + P_{j_1 j_2 \dots j_{l-1} j_{l+1} \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_{r-1} 2 i_{r+1} \dots i_n} + \dots + P_{j_1 j_2 \dots j_{l-1} j_{l+1} \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_{r-1} m i_{r+1} \dots i_n}. \end{aligned} \quad (6)$$

По аналогии с существующей операцией свертки в традиционной многомерной модели данных применение свертки геометрических объектов позволяет обобщать информацию в виде агрегированных данных, используемых при оперативном анализе.

При переходе от одной системы координат многомерной модели данных к другой компоненты экстенсива $Q_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n}$ могут быть преобразованы по закону:

$$\forall (i_k \in I, j_l \in J) Q_{j'_1 j'_2 \dots j'_m}^{i'_1 i'_2 \dots i'_n} = P_{i'_1 i'_2 \dots i'_n}^{i_1 i_2 \dots i_n} \cdot S_{j'_1 j'_2 \dots j'_m}^{j_1 j_2 \dots j_m} \cdot Q_{j_1 j_2 \dots j_m}^{i_1 i_2 \dots i_n}. \quad (7)$$

при этом экстенсив является тензором относительно группы преобразований (9), что позволяет использовать элементы тензорного анализа для вычисления и изучения инвариантов преобразований, что и является его основным практическим приложением. Над тензорами могут быть дополнительно определены операции ковариантного и абсолютного дифференцирования. Это позволяет включить в состав рассматриваемых объектов КК те объекты, которые функционируют нелинейно.

Таким образом, путь формирования многомерной модели данных в интересах автоматизированной обработки и анализа информации может быть кратко описан посредством перечисления следующими основных действий:

на первом этапе – формирование тензорного представления семантического слоя хранилища данных;

на втором этапе – формирование тензорного представления исходных данных, вычисление инвариантов объектов КК;

на третьем этапе – преобразование тензорного представления данных с использованием инвариантов объектов КК, вычисление результирующего тензорного представления данных;

на четвертом этапе – интерпретация тензорного представления данных в соответствии с метаданными семантического слоя и формальными процедурами обработки и анализа информации.

Использование операций над тензорами в качестве операции агрегирования данных повышает функциональную эффективность многомерной модели данных. Так, помимо определения операций над тензорами, позволяющих формировать обобщенное представление объекта в многомерной модели данных, будет можно осуществлять декомпозицию представ-

лений объекта. При этом в отличие от декомпозиции данных в существующей технологии оперативного анализа данных, базирующейся на эвристическом задании направления декомпозиции, декомпозиция геометрических объектов может осуществляться на основе формальных преобразований [5]. Подобное инвариантное представление знаний в многомерной модели с использованием группы преобразований пространства и формул преобразования позволяет определить представление геометрического объекта в любой системе координат. Следовательно, в автоматизированном режиме можно определить состояние объекта КК при заданных значениях отдельных параметров, т. е. его различные варианты функционирования, в том числе и состояние объекта на какой-либо момент времени.

Таким образом, накопление информации о состоянии и деятельности объектов КК в хранилище с использованием многомерной модели данных, построенной на основе использования инвариантов, будет способствовать выявлению новых объективных формализованных знаний о них. Вычисление же инвариантов, их хранение как агрегированных данных в хранилище и использование при неоднократных аналитических запросах позволит в автоматизированном режиме решать задачи оперативного анализа данных в режиме реального времени по большому потоку входных данных.

Список используемых источников

1. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, И.И. Холод, М.Д. Тесс, С.И. Елизаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
2. Макленнен Дж., Танг Чж., Криват Б. Microsoft SQL-server 2008: Data Mining – интеллектуальный анализ данных: пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 720 с.
3. Вейль Г. Классические группы, их инварианты и представления / пер. с англ. Д.А. Райкова. – М.: ГИИЛ, 1947. – 408 с.
4. Победря Б.Е. Лекции по тензорному анализу: учеб. пособие. – 3-е изд. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 264 с.
5. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / пер. с англ. – М.: Наука, 1972. – 544 с.

В.А. Каргин,
кандидат техн. наук, доцент;
Я.А. Скороходов

ОЦЕНИВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО СТАТИСТИКЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ЗАДАННЫХ УРОВНЕЙ

Предлагается способ оценивания вероятностной структуры телеметрируемых параметров, основанный на регистрации числа пересечений реализацией информационного процесса заданных уровней. Получены аналитические выражения изменения среднего числа пересечений заданных уровней при нелинейных преобразованиях процессов первого класса. Сформировано признаковое пространство и разработан статистический критерий для оперативной классификации информационных процессов первого класса по вероятностной структуре.

Ключевые слова: телеметрическая информация, неоднородность, оперативная обработка, характеристики «превышений уровней».

ВВЕДЕНИЕ

Один из важнейших вопросов обработки измерительной информации космических средств (КСр) – оперативной обработки телеметрической информации (ТМИ) на активном участке траектории (АУТ) – остается актуальным и сегодня.

В настоящее время создаются комплексы автоматизированной обработки ТМИ и мониторинга технического состояния (ТС) ракет-носителей (РН), предназначенные для оперативно-го получения заключений о контролируемых событиях, происходящих на борту, и визуализации полученных результатов на средствах отображения информации полигонного комплекса [1]. Большинство алгоритмов оперативной обработки ТМИ работают эффективно только на ограниченных (определенных) интервалах времени полета РН. В основном, это связано с неоднородностью и трудностью формализации обработки ТМИ РН на АУТ.

Один из видов неоднородностей ТМИ – структурная неоднородность телеметрируемого параметра (ТМП). Практика обработки ТМИ отечественных и зарубежных ракет космического назначения и межконтинентальных баллистических ракет показывает, что структурная неоднородность ТМП может быть связана с некорректной настройкой датчиков-преобразующей аппаратуры (типичным примером является параметр осевой перегрузки РН «Союз-2» на участке работы двигательной установки первой ступени), конструктивными особенностями отдельных бортовых систем (например, двигательной установки разгонного блока), а также нештатными условиями функционирования в условиях воздействия дестабилизирующих факторов на объект контроля [2]. Оценки плотности вероятности в приведенных случаях являются несимметричными и могут быть аппроксимированы χ -распределениями.

Разработанные методы математической статистики, основанные на метриках между эмпирической и модельной функциями распределения (например, квадратичная по критерию ω^2) или связях между моментными характеристиками для нормального закона, в оперативной обработке ТМИ РН на АУТ невозможно применять по причине высокой ресурсоемкости в плане вычислений. Поэтому актуальной является научная задача разработки методов и алгоритмов проверки гипотез о вероятностной структуре ТМП в реальном масштабе времени.

В данной статье предлагается подход к оцениванию законов распределения на основе статистики пересечений уровней.

СРЕДНЕЕ ЧИСЛО ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ТРАЕКТОРИЕЙ ПРОЦЕССА ЗАДАННОГО УРОВНЯ

Среднее число положительных пересечений $N_{\xi}^+(H, T)$ траекторией стационарного дифференцируемого процесса $\xi(t)$ заданного уровня H в единицу времени $T = 1$ определяется формулой Райса [5]

$$N_{\xi}^+(H, 1) = \int_0^{\infty} \dot{\xi} p_2(\xi, \dot{\xi})|_{\xi=H} d\dot{\xi}, \quad (1)$$

где p_2 – совместная плотность вероятности для значений $\xi(t)$ и $\dot{\xi}(t) = d\xi(t)/dt$ в совпадающие моменты времени $t \in [0, T]$, причем в этой совместной плотности вероятности нужно положить, что $\xi(t) = H$, $p_2(\xi, \dot{\xi}) = p_2[\xi(t), \dot{\xi}(t)]$.

Для процессов, обладающих статистически независимой производной

$$p_2(\xi, \dot{\xi}) = p(\xi)p(\dot{\xi}), \quad (2)$$

выражение (1) примет вид

$$N_{\xi}^+(H, 1) = p(\xi)|_{\xi=H} \int_0^{\infty} \dot{\xi} p(\dot{\xi}) d\dot{\xi}. \quad (3)$$

Если учесть, что производная стационарного процесса имеет математическое ожидание $M[p(\dot{\xi})] = 0$, а функция обладает свойством четности $p(\dot{\xi}) = p(-\dot{\xi})$, то постоянный множитель равен

$$\int_0^{\infty} \dot{\xi} p(\dot{\xi}) d\dot{\xi} = \frac{1}{2} M[|\dot{\xi}|], \quad (4)$$

т. е. является абсолютным центральным моментом плотности вероятности производной $\dot{\xi}(t)$.

Кроме того, если функция $p(\dot{\xi})$ является гауссовой

$$p(\dot{\xi}) = (2\pi\sigma_{\dot{\xi}}^2)^{-1/2} \exp(-\dot{\xi}^2/2\sigma_{\dot{\xi}}^2), \quad (5)$$

то $M[|\dot{\xi}|] = \sqrt{2/\pi}\sigma_{\dot{\xi}}$ и, учитывая, что дисперсия производной $\sigma_{\dot{\xi}}^2 = \sqrt{-d^2 R_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}}$, среднее число пересечений $N_{\xi}^+(H, T)$ вычисляется по следующей формуле [6]:

$$N_{\xi}^+(H, 1) = (2\pi)^{-1/2} \sqrt{-R_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}} p(\xi)|_{\xi=H}. \quad (6)$$

Класс процессов, для которых выполняются условия (2), (5), будем относить к процессам первого класса, соответственно, процессы, которые не обладают перечисленными свойствами, относить к процессам второго класса.

Рассмотрим процессы с гауссовским и χ -распределениями и запишем для них выражения среднего количества пересечений.

1. Гауссовский процесс. Гауссовский процесс $\xi(t)$ имеет свойство устойчивости нормальных распределений при линейных преобразованиях процесса, поэтому при дифференцировании (являющейся линейной операцией) всегда получается гауссовский процесс $\xi^{(v)}(t) = d^v \xi(t)/dt^v$, полностью определяемый математическим ожиданием $M[\xi^{(v)}(t)]$ и корреляционной функцией $R_{\xi^{(v)}}(\tau)$.

Если рассматриваемый гауссовский процесс $\xi(t)$ стационарный, то процесс $\dot{\xi}(t)$ является также стационарным, значения $\xi(t)$ и $\dot{\xi}(t)$ в совпадающие моменты времени являются некоррелированными, что для гауссовских процессов эквивалентно их статистической независимости.

Используя выражение (6), получаем

$$N_{\xi}^{+}(H, 1) = (2\pi)^{-1} \sqrt{-r_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}} \exp[-0.5(H/\sigma_{\xi})^2], H \in (-\infty; \infty). \quad (7)$$

2. χ -процесс (распределение модуля n -мерного вектора с независимыми гауссовыми компонентами):

$$p(\xi; n) = \frac{2\xi^{n-1}}{2^{n/2} b^n \Gamma(n/2)} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2b^2}\right). \quad (8)$$

Совместная плотность вероятности $p_2(\xi, \dot{\xi})$ для значений процесса $\xi(t)$ и его производной $\dot{\xi}(t)$ в совпадающие моменты времени имеет вид [4]

$$p(\xi; \dot{\xi}) = p(\xi; n) \frac{1}{\sqrt{2\pi[-R''(0)]}} \exp\left(-\frac{\dot{\xi}^2}{2[-R''(0)]}\right), \quad (9)$$

где $\sigma_{\xi}^2 = -R_{\xi}''(0)$ – дисперсия производной процесса.

Как видно из выражения, χ -процесс относится к классу стационарных процессов со статистически независимой производной и, кроме того, одномерная плотность вероятности производной процесса $\dot{\xi}(t)$ является нормальной с математическим ожиданием $M[\dot{\xi}(t)] = 0$ и дисперсией $\sigma_{\dot{\xi}}^2 = -\sigma_{\xi}^2 r_{\xi}''(0)$. Поэтому, подставляя выражение (8) в формулу (6), получаем

$$N_{\xi}^{+}(H, 1) = \left(\frac{-R_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}}{2\pi}\right)^{1/2} \frac{2H^{n-1}}{2^{n/2} b^n \Gamma(n/2)} \exp\left(-\frac{H^2}{2b^2}\right). \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет вычислять среднее число положительных пересечений уровня H процесса с χ -распределением. Однако пользоваться подобной формулой неудобно, так как в нее входит параметр b , относящийся к гауссовским составляющим. Когда наблюдению доступна реализация χ -процесса, сведения о порождающих его компонентах отсутствуют и при этом оказываются предпочтительнее результаты, выраженные через характеристики исследуемого χ -процесса.

Дисперсия σ_{ξ}^2 и параметр b связаны соотношением

$$\sigma_{\xi}^2 = b^2 \left\{ n - 2 \left[\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) / \Gamma(n/2) \right]^2 \right\}. \quad (11)$$

Общая формула для среднего числа положительных пересечений χ -процесса с n степенями свободы примет окончательный вид

$$N_{\xi}^{+}(H, 1) = (2\pi)^{-1/2} \sqrt{-r_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}} (H/\sigma_{\xi})^{n-1} \frac{2 \left\{ n - 2 \left[\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) / \Gamma(n/2) \right]^2 \right\}^{n/2}}{2^{n/2} \Gamma(n/2)} \times \exp\left[-(H/\sigma_{\xi})^2 \left\{ 0.5n - \left[\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) / \Gamma(n/2) \right]^2 \right\}\right], H \geq 0. \quad (12)$$

Для наиболее распространенных частных случаев из формулы (12) получим следующие результаты:

– при $n = 2$ для процесса $\xi(t)$ с распределением Релея

$$N_{\xi}^{+}(H, 1) = (2\pi)^{-1/2} \sqrt{-r_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}} (H/\sigma_{\xi}) (2 - \pi/2) \exp[-(H/\sigma_{\xi})^2 (1 - \pi/4)], H \geq 0; \quad (13)$$

$$\sigma_{\xi}^2 = (2 - 0,5\pi)b^2;$$

– при $n = 3$ для процесса $\xi(t)$ с распределением Максвелла

$$N_{\xi}^{+}(H, 1) = 1/\pi \sqrt{-r_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}} (H/\sigma_{\xi})^2 (3 - 8/\pi)^{3/2} \exp[-(H/\sigma_{\xi})^2 (3/2 - 4/\pi)], H \geq 0; \quad (14)$$

$$\sigma_{\xi}^2 = (3 - 8/\pi)b^2;$$

– при $n = 4$

$$N_{\xi}^{+}(H, 1) = (2\sqrt{2\pi})^{-1} \sqrt{-r_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}} (H/\sigma_{\xi})^3 (4 - 9\pi/8)^2 \exp[-(H/\sigma_{\xi})^2 (2 - 9\pi/16)], \quad (15)$$

$$H \geq 0$$

$$\sigma_{\xi}^2 = (4 - 9\pi/8)b^2;$$

– при $n = 5$

$$N_{\xi}^{+}(H, 1) = (3\pi)^{-1} \sqrt{-r_{\xi}''(\tau)|_{\tau=0}} (H/\sigma_{\xi})^4 (5 - 128/9\pi)^{5/2} \exp[-(H/\sigma_{\xi})^2 (5/2 - 64/9\pi)], \quad (16)$$

$$H \geq 0$$

$$\sigma_{\xi}^2 = (5 - 128/9\pi)b^2.$$

Таким образом, представлены выражения среднего количества пересечений заданного уровня информационных процессов с гауссовским и χ -распределениями.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ СРЕДНЕГО КОЛИЧЕСТВА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ РЕАЛИЗАЦИЕЙ ПРОЦЕССА ЗАДАННОГО УРОВНЯ

На практике в результате измерений параметра $N_{\xi}^{+}(H, T)$ среднего числа пересечений получается не истинное значение $N_{\xi}^{+}(H, T)$, а оценка $\hat{N}_{\xi}^{+}(H, T)$, на основе которой делают заключение об истинных параметрах исследуемого процесса $\xi(t)$. При этом возникают важные вопросы о взаимосвязи точности оценивания $N_{\xi}^{+}(H, T)$, объемом выборки и вероятностными свойствами анализируемых процессов $\xi(t)$.

Предположим, что наблюдению доступна одна реализация $\xi(t)$, $t \in [t_0, t_0 + T]$ случайного процесса, который является стационарным в узком смысле, а его корреляционная функция $R_{\xi}(\tau)$, помимо условия дифференцируемости $-R_{\xi}''(0) < \infty$, обладает свойствами

$$\lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} \int_0^T R_{\xi}(\tau) d\tau = 0, \quad \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} \int_0^T R_{\xi}^2(\tau) d\tau = 0, \quad (17)$$

т. е. рассматриваемый процесс $\xi(t)$ удовлетворяет условиям эргодичности.

В качестве оценки среднего числа пересечений $\hat{N}_{\xi}(H, 1)$ может быть принята величина:

$$\hat{N}_{\xi}(H, 1) = \frac{1}{T} n(H, T). \quad (18)$$

Оценка (18) обладает свойствами несмещенности

$$M[\hat{N}_{\xi}(H, 1)] = \frac{1}{T} M[n(H, T)] = N_{\xi}(H, 1), \quad (19)$$

а ее дисперсия определяется формулой

$$D[\hat{N}_{\xi}(H, 1)] = \frac{1}{T^2} D[n(H, T)]. \quad (20)$$

Следует отметить, что оценка (18) характеризуется асимптотически (при $T \rightarrow \infty$) нормальным распределением [5].

Задача нахождения дисперсии оценок достаточно просто решается на основе формул в случаях, когда предварительно найдена дисперсия $D[n(H, T)]$ случайной величины

$n(H, T)$. Аналитически найти дисперсию $D[n(H, T)]$, а, следовательно $D[\hat{N}_\xi(H, T)]$, как правило, не удается даже для частных случаев гауссовского стационарного процесса.

Для стационарного гауссовского процесса получены приближенные с точностью до T^{-1} асимптотические результаты [5]:

$$D[\hat{N}_\xi(h, 1)_T] = \frac{-r''(0)}{\pi^2(T/2\tau_K)}(1+h^2)^2 \exp(-h^2), \quad T \gg \tau_K, \quad (21)$$

где $h = \sigma_\xi^{-1}(H - m_\xi)$ – относительный уровень.

Если представить $-r''(0) = \chi^2 \Delta \omega_\xi^2 = \chi^2 (2\pi \Delta f_\xi)^2$ и $T/2\tau_K = T \Delta f_\xi$, то получим

$$D[\hat{N}_\xi(h, 1)_T] = \frac{4\chi^2 \Delta f_\xi}{T} (1+h^2)^2 \exp(-h^2), \quad T \gg \tau_K. \quad (22)$$

Выражение (22) показывает простую функциональную связь между дисперсией числа выбросов с величиной относительного уровня h , коэффициентом формы χ и шириной $\Delta \omega_\xi$ спектральной плотности $S(\omega)$ рассматриваемого процесса $\xi(t)$.

Для нахождения дисперсии среднего числа пересечений заданного уровня процесса с χ -распределением воспользуемся результатами математического моделирования.

Алгоритм моделирования случайных последовательностей с вероятностными, отличными от нормального распределения с заданными спектральными свойствами состоит в генерации нормально распределенной случайной последовательности, пропускания ее через формирующий фильтр для обеспечения необходимых спектральных свойств, нормализации и применения нелинейного преобразования специального вида.

Оценка дисперсии $\hat{\sigma}_N^2(H, T) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ рассчитываются экспериментально по формуле [4]

$$\hat{\sigma}_N^2(H, T) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m [n^{(i)}(H, T) - N^{(i)}(H, T)]^2. \quad (23)$$

Выражения (21)–(23) дают возможность определять точность измерений числа пересечений $N_\xi^+(H, T)$ уровня H или, при иной постановке задачи, определять необходимую минимальную длительность T реализации $\xi(t)$ для обеспечения требуемой точности.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО КОЛИЧЕСТВА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ УРОВНЕЙ ПРИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ ПРОЦЕССОВ ПЕРВОГО КЛАССА

Согласно выражению (6), среднее количество положительных пересечений заданного $N_\xi^+(h, 1)$ уровня $h = \sigma_\xi^{-1}H$ для процессов первого класса полностью определяется одномерной плотностью вероятности $p(\xi)|_{\xi=h}$ процесса $\xi(t)$ на относительном уровне h и видом корреляционной функции $r_\xi(\tau)$.

В работе [3] рассматривается характеристика нормированного среднего количества пересечений $L_\xi^+(h, 1)$ реализацией процесса $\xi(t)$ заданного относительного уровня h

$$L_\xi^+(h, 1) = (1/\lambda_2) N_\xi^+(h, 1) = (2\pi)^{-1/2} p(\xi)|_{\xi=h}, \quad (24)$$

где λ_2 – спектральный момент

$$\lambda_2 = \sqrt{-r''(0)} = \int_0^\infty \omega^2 S_\xi(\omega) d\omega / \int_0^\infty S_\xi(\omega) d\omega. \quad (25)$$

Характеристика нормированного среднего количества пересечений $L_\xi^+(h, 1)$ уровня $h = \sigma^{-1}H$ реализацией процесса $\xi(t)$ определяется:

1) процесс Гаусса

$$L_\xi(h, 1) = (2\pi)^{-1} \exp(-0.5h^2), H \in (-\infty; \infty); \quad (26)$$

2) χ -процесс

$$L_\xi(h, 1) = (2\pi)^{-1/2} h^{n-1} \frac{2\gamma(n)^{n/2}}{2^{n/2} \Gamma(n/2)} \exp[-h^2 0.5\gamma(n)], H \geq 0, \quad (27)$$

где $\gamma(n) = n - 2 \left[\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) / \Gamma(n/2) \right]^2$.

Следует отметить, что плотности вероятности χ -распределений являются несимметричными, для них числовые характеристики центра группирования (математическое ожидание, мода, медиана) не совпадают, а следовательно, относительные уровни $h = \sigma^{-1}(H - c)$ будут определяться в зависимости от того, какая из характеристик центра группирования принимается за нулевой уровень c .

Запишем нелинейную характеристику $k_N(h, 1)$ – отношение среднего количества пересечений уровней реализацией процесса с χ -распределением к среднему количеству пересечений реализацией гауссовского процесса

$$k_N(h, 1) = (2\pi)^{1/2} (h+c)^{n-1} \frac{2\gamma(n)^{n/2}}{2^{n/2} \Gamma(n/2)} \exp[0.5(h+c)^2[1-\gamma(n)] - (h+c)c + 0.5c^2], \quad (28)$$

$$h \in [-c, \infty).$$

Здесь c – значение нулевого уровня (числовая характеристика центра группирования).

Конкретизируем выражение (28) для частных случаев χ -распределений.

При $n = 2$ для процесса $\xi(t)$ с распределением Релея функция $k_N(h, 1)$ задача определяется выражением

$$k_N(h, 1) = (h+c)(2 - 0.5\pi)\sqrt{2\pi} \exp[(h+c)^2(0.25\pi - 0.5) - (h+c)c + 0.5c^2], \quad (29)$$

$$h \in [-c, \infty).$$

Аналитическая зависимость (29) определяет изменение среднего числа пересечений уровней при нелинейных преобразованиях процессов с распределениями Гаусса и Релея. Окончательно необходимо определить значение нулевого уровня c .

Математическое ожидание χ -процесса m_ξ определяется

$$m_\xi = 2^{1/2} b \left[\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) / \Gamma(n/2) \right] \quad (30)$$

и связано с дисперсией σ_ξ^2 соотношением

$$m_\xi = \left(\frac{2\sigma_\xi^2 \left[\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) / \Gamma(n/2) \right]^2}{n - 2 \left[\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right) / \Gamma(n/2) \right]^2} \right)^{1/2}. \quad (31)$$

Из формулы (31) для распределения Релея ($n = 2$) получаем

$$m_\xi = \sigma_\xi \sqrt{\pi/(4-\pi)}. \quad (32)$$

Подставляя в формулу (29) m_ξ , можно найти соответствующие выражения для $k_N(h, 1)$.

Функция $k_N(h, 1)$ для распределения Максвелла ($n = 3$) определяется

$$k_N(h, 1) = 2(h+c)^2(3-8/\pi)^{3/2} \exp[(h+c)^2(4/\pi-1) - (h+c)c + 0,5c^2], \quad (33)$$

$$h \in [-c, \infty).$$

Для распределения Максвелла математическое ожидание $m_\xi = 2\sigma_\xi \sqrt{2/(3\pi-8)}$.

Для χ -процесса с числом степеней свободы $n = 4$ функция $k_N(h, 1)$ имеет вид

$$k(h, 1) = (0,5\pi)^{1/2} (h+c)^2(4-9\pi/8)^2 \exp[(h+c)^2(9\pi/16-1,5) - (h+c)c + 0,5c^2], \quad (34)$$

$$h \in [-c, \infty).$$

При $n = 5$ $k_N(h, 1)$ определяется

$$k(h, 1) = (2/3)(h+c)^2(5-128/9\pi)^{5/2} \exp[(h+c)^2(64/9\pi-2) - (h+c)c + 0,5c^2], \quad (35)$$

$$h \in [-c, \infty).$$

Таким образом, получены аналитические выражения изменения среднего числа пересечений заданных уровней при нелинейных преобразованиях процессов с гауссовым и χ -распределениями.

ПРИЗНАКОВОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРВОГО КЛАССА

Продифференцируем функцию $k_N(h, 1)$ отношения среднего количества положительных пересечений процесса с χ -распределением к среднему количеству выбросов гауссова процесса на одинаковых относительных уровнях h и получим в точках равенства нулю производной $dk_N(h, 1)/dh$ функции значения относительных уровней h^* , при которых характеристика $k_N(h, 1)$ принимает экстремальные значения [3].

В частности, характеристика $k_N(h, 1)$ для процесса Релея определяется (рис. 1, а)

$$\frac{d}{dh} k(h, 1) = (4-\pi)\sqrt{\pi/2} \exp[-(h+c)^2(0,5-\pi/4) - (h+c)c + 0,5c^2] \times \quad (36)$$

$$\times [(h+c)^2(\pi/2-1) - (h+c)c + 1], h \in [-c, \infty), \text{ где } c = \sqrt{\pi/(4-\pi)};$$

для процесса Максвелла определяется (рис. 1, б)

$$\frac{d}{dh} k(h, 1) = 2(h+c)(3-8/\pi)^{3/2} \exp[(h+c)^2(4/\pi-1) - (h+c)c + 0,5c^2] \times \quad (37)$$

$$\times [2(h+c)^2(4/\pi-1) - (h+c)c + 2], h \in [-c, \infty), \text{ где } c = 2\sqrt{2/(3\pi-8)}.$$

В табл. 1 представлены значения относительных уровней h^* и соответствующие им значения числа пересечений $L_\xi(H, T)$, если в качестве центра распределений принять математическое ожидание.

Пределы изменения относительных уровней h определяются потенциальной точностью оценивания числа пересечений $n_\xi^+(h, 1)$ по реализации стационарного процесса $\xi(t)$. Таким образом, выбор уровня осуществляется из условия $h^* = h | \max(\min)\{k_N(h_i, 1); k_N(h_{cp}, 1)\}$, где $h_i = h | k_N'(h_i, 1) = 0$, $i = \overline{1, 2}$, $h_{cp} = h | \max\{\varepsilon_N^\Gamma(\theta, h), \varepsilon_N^\chi(\theta, h)\} \leq \varepsilon_{mp}$, где безразмерный па-

раметр $\theta = T/\tau$, T – интервал обработки, τ – интервал корреляции, ε_{mp} – требуемая точность оценивания $n_{\xi}^+(h, 1)$.

Таблица 1

Значения относительных уровней

№ п/п	h	$L_{\chi}(h, 1)$	$L_{\xi}(h, 1)$	$k_N(h, 1)$
χ -распределение с $n = 2$ (распределение Релея)				
1	-1,266	0,101	0,072	1,418
2	0,791	0,096	0,116	0,828
χ -распределение с $n = 3$ (распределение Максвелла)				
1	-1,222	0,095	0,075	1,259
2	0,819	0,099	0,114	0,866
χ -распределение с $n = 4$				
1	-1,192	0,093	0,078	1,195
2	0,839	0,099	0,112	0,886
χ -распределение с $n = 5$				
1	-1,171	0,093	0,080	1,161
2	0,854	0,100	0,111	0,899

Полученные уровни h^* позволяют сформировать признаковое пространство (признаками в данном случае выступают значения среднего количества пересечений на относительных уровнях $h_i^* | i=1, 2$), в котором информационные процессы с рассматриваемыми законами распределений являются максимально различимыми.

Результаты контроля числа пересечений реализацией $\xi(t)$, $t \in [t_0, t_0 + T]$ информационного процесса уровнями h^* с заданной степенью уверенности позволяют сделать вывод о законе распределения ТМП, причем достоверность принятия решения зависит от количества уровней, подлежащих контролю, длительности контроля, самих значений относительных уровней.

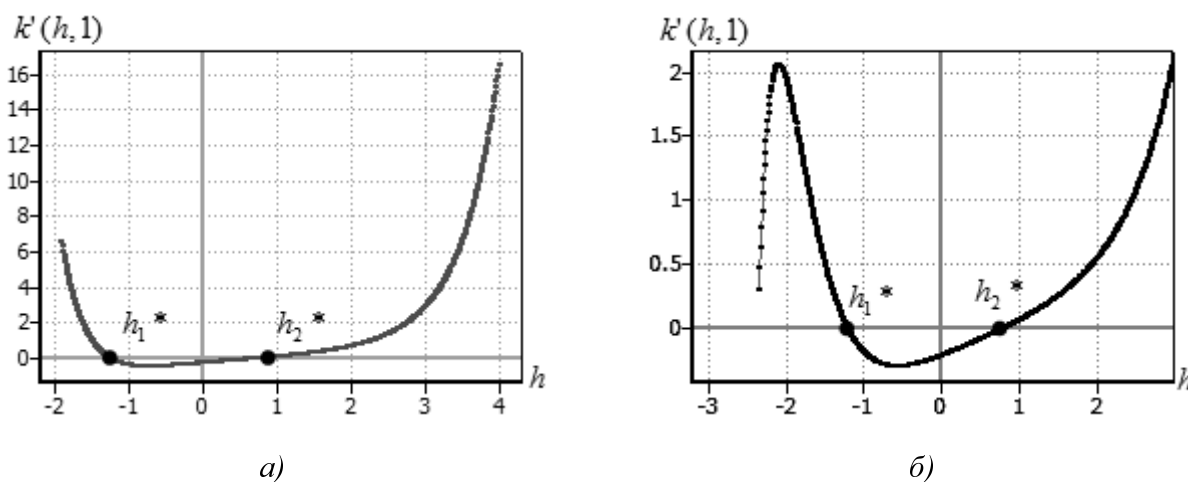


Рис. 1. Производная $dk_N(h, 1)/dh$ переходной характеристики для процесса с распределением Релея (а); с распределением Максвелла (б)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРВОГО КЛАССА

Анализ методов классификации показал, что наиболее пригодными для решения задачи обнаружения нелинейных преобразований ТМП является критерий Неймана – Пирсона. Критерий Неймана–Пирсона применяется в случаях, когда остаются неизвестными априорные вероятности принадлежности объектов классам $P(\omega_i), i=1,2$ и матрица рисков $c = \{c_{ij} : i, j = \overline{1, n}\}$.

Будем обозначать вектор X признаков – вектор числа пересечений заданных уровней $X = [n(h_1, 1), n(h_2, 1)]^T$. Критерий Неймана–Пирсона состоит в построении стратегии, то есть такого разбиения признакового пространства R на непересекающиеся области

$$R_1, R_2 : R_1 \cap R_2 = \emptyset, R_1 \cup R_2 = R, \quad (38)$$

чтобы, во-первых, условная вероятность ошибки первого рода ε_1 (вероятности отнесения X к классу ω_2 , когда на самом деле X принадлежит классу ω_1) не превышала заранее заданного значения α

$$\varepsilon_1 = \int_{R_2} p(X / \omega_1) dX \leq \alpha, \quad (39)$$

и, во-вторых, минимизировалась вероятность ошибки второго рода (вероятность отнесения X к классу ω_1 , когда на самом деле X принадлежит классу ω_2)

$$\varepsilon_2 = \int_{R_1} p(X / \omega_2) dX \rightarrow \min, R_1 \cap R_2 = \emptyset, R_1 \cup R_2 = R, \quad (40)$$

где $p(X / \omega_i) = p_i(X), i = 1, 2$ – условные плотности вероятности распределения признаков в классах.

В данном случае удобнее вместо интегрирования плотностей вероятностей в n -мерном пространстве перейти к интегрированию отношений правдоподобия. Использование отношения правдоподобия приводит к редукции наблюдаемых данных: отображению выборочно-го n -мерного пространства на действительную положительную полуось. При этом целесообразно применить преобразование $h(X) = \ln[l(X)]$.

Тогда интегралы в этом случае имеют вид:

$$\varepsilon_1 = \int_t^{\infty} p(h / \omega_1) dh; \quad (41)$$

$$\varepsilon_2 = \int_{-\infty}^t p(h / \omega_2) dh, \quad (42)$$

где $t = \ln[P(\omega_1)/P(\omega_2)]$.

Порог t вычисляется по следующей формуле

$$\varepsilon_1 = \int_t^{\infty} p(h / \omega_1) dh = \alpha. \quad (43)$$

Вероятность ошибки ε_1 является монотонной функцией относительно t , поэтому после вычисления значений ε_1 для нескольких t можно найти такое $P(\omega_1)/P(\omega_2)$, которому соответствует значение $\varepsilon_1 = \alpha$.

Плотности вероятности отношения правдоподобия для нормально распределенных признаков (оценка среднего числа характеризуется асимптотически нормальным распреде-

лением) можно вычислить через характеристические функции по алгоритму, представленному в работе [7].

Грубую аппроксимацию вероятности ошибки можно получить, если предположить, что решающее правило $h(X)$ имеет нормальное распределение. Тогда $h(X)$ имеет вид

$$h(X) = \frac{1}{2}(X - M_1)^T \Sigma_1^{-1}(X - M_1) - \frac{1}{2}(X - M_2)^T \Sigma_2^{-1}(X - M_2) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma_1|}{|\Sigma_2|} < t \rightarrow X \in \omega_1; \quad (44)$$

$$h(X) > t \rightarrow X \in \omega_2,$$

где X – вектор измерений, $X = [n(h_1, 1), n(h_2, 1)]^T$;
 M_i, Σ_i – векторы математических ожиданий и ковариационные матрицы распределений числа пересечений процессов с заданными законами распределений, $i = 1, 2$.

Математическое ожидание и дисперсию распределения $p(h/\omega_i), i = 1, 2$ можно получить по формулам:

$$M[h/\omega_1] = 0,5 \text{tr}(I - \Sigma_2^{-1} \Sigma_1) - 0,5(M_1 - M_2)^T \Sigma_2^{-1}(M_1 - M_2) + 0,5 \ln \frac{|\Sigma_1|}{|\Sigma_2|}; \quad (45)$$

$$M[h/\omega_2] = 0,5 \text{tr}(\Sigma_1^{-1} \Sigma_2 - I) + 0,5(M_1 - M_2)^T \Sigma_1^{-1}(M_1 - M_2) + 0,5 \ln \frac{|\Sigma_1|}{|\Sigma_2|}; \quad (46)$$

$$D[h/\omega_1] = 0,5 \text{tr}(I - \Sigma_2^{-1} \Sigma_1)^2 + (M_1 - M_2)^T \Sigma_2^{-1} \Sigma_1 \Sigma_2^{-1}(M_1 - M_2); \quad (47)$$

$$D[h/\omega_2] = 0,5 \text{tr}(\Sigma_1^{-1} \Sigma_2 - I)^2 + (M_1 - M_2)^T \Sigma_1^{-1} \Sigma_2 \Sigma_1^{-1}(M_1 - M_2). \quad (48)$$

где $\text{tr}(\cdot)$ – след матрицы.

Подставляя полученные характеристики в формулы (41), (42), можно грубо оценить вероятности ошибки.

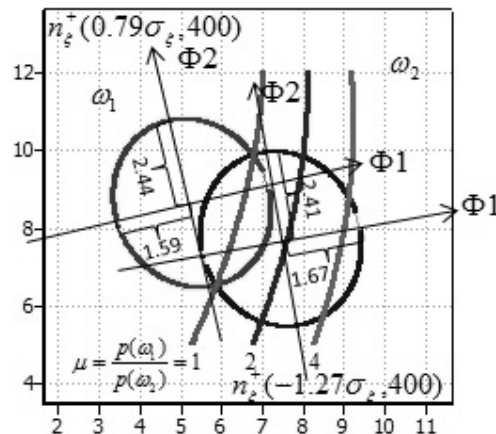


Рис. 2. Границы Неймана-Пирсона для классификации информационных процессов с распределениями Гаусса – ω_1 , и Релея – ω_2 по статистикам пересечений уровней $n(h_i, T)$, $i = 1, 2$

На рис. 2 изображены эллипсы рассеивания двумерной случайной величины, компонентами которой являются количество положительных пересечений $n^+(h_i, T), i = 1, 2$ траекторией $\xi(t), t \in [t_0, t_0 + T]$ процессов с распределениями Гаусса и Релея с корреляционной

функцией $r(\tau) = [1 + \alpha |\tau| + (\alpha\tau)^2 / 3] \exp(-\alpha |\tau|)$, $\alpha = 0,3$ уровней $h_1 = -1,27 \sigma_\xi$, $h_2 = 0,79 \sigma_\xi$ на интервале анализа 4 с (400 значений при частоте опроса параметра 100 Гц). На рисунке приведены обозначения $\Phi 1$ и $\Phi 2$ – собственные векторы корреляционных матриц $\Sigma_i, i = 1, 2$, значения полуосей равны собственным значениям. Границы Неймана – Пирсона соответствуют вероятностям ошибок первого рода $\varepsilon_1 = 0,3; 0,1; 0,05$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в работе результаты позволили проводить классификацию информационных процессов по вероятностной структуре в реальном масштабе времени. Алгоритмы, основанные на характеристиках «превышений уровней», просты в реализации и не требуют больших вычислительных ресурсов. Это открывает широкие возможности по их использованию в средствах оперативной обработки телеметрической информации.

Представленный подход предлагается использовать для идентификации изменений в процессах, которые могут быть вызваны нештатными (в том числе и аварийными) ситуациями, что даст возможность прогнозировать ТС контролируемого объекта и обеспечить своевременное и обоснованное принятие решение на управление. Это достигается путем контроля ТМП на относительных уровнях h .

Список используемых источников

1. Комплексная автоматизация мониторинга состояния космических средств на основе интеллектуальных информационных технологий / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р.М. Юсупов и др. // Информационные технологии. – 2011. – № 10. – С. 14 – 20.
2. *Скороходов Я.А.* Способ оперативного распознавания нештатного функционирования бортовых систем ракет-носителей // Тезисы докладов XX научно-технической конференции молодых ученых и специалистов / Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева. – 2014. – С. 181–182.
3. *Каргин В.А., Скороходов Я.А., Николаев Д.А.* Способ оперативной обработки телеметрической информации ракет-носителей // Системы контроля, испытаний и управления космическими средствами. – 2014. – № 36. – С. 4–19.
4. *Тихонов В.И.* Выбросы случайных процессов. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
5. *Тихонов В.И., Хименко В.И.* Выбросы траекторий случайных процессов. – М.: Наука, 1987. – 305 с.
6. *Хименко В.И.* О среднем числе выбросов траектории негауссова случайного процесса над заданным уровнем // Известия высших учебных заведений. – 1978. – Т. 21. – № 8.
7. *Фукунага К.* Введение в статистическую теорию распознавания образов / пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 368 с.

Е.П. Минаков,
доктор технических наук, профессор;
П.Ю. Бугайченко

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОЛЕТА ОРБИТАЛЬНОГО ОБЪЕКТА ЧЕРЕЗ ЗОНУ ВИДИМОСТИ ПУНКТА, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Рассматривается модель определения вероятности пролета орбитального объекта через зону видимости пункта, расположенного на поверхности Земли, за отводимое время при случайном моменте времени начала оценивания с использованием математического аппарата сферической тригонометрии.

Ключевые слова: орбитальный объект, зона видимости, вероятность пролета.

При решении задач мониторинга областей на поверхности Земли и оценивания характеристик применения по ним орбитальных объектов (ОО) возникает необходимость оценивания вероятности их пролета через зоны видимости (ЗВ) пунктов, расположенных на поверхности Земли, за отводимое для этого время при случайном моменте времени начала оценивания.

Пусть $P_{ЗВ} = P_{ЗВ}(t^*, \Delta T, T, \Lambda, B)$ – вероятность пролета ОО через ЗВ за отводимое время $\Delta T = [T_n, T_k]$ при случайном моменте времени возможного начала оценивания – $t^* = T_n$, где Λ – геоцентрические координаты, $\Lambda = \{\psi, \lambda\}$ (широта – ψ и долгота – λ) точки стояния пункта (модель Земли – шар радиуса $R_3 = 6371$ км с равномерным распределением масс);

B – начальные условия движения ОО, $B = \{H, i, \omega, L_{\text{э}0}, t_{\text{э}0}\}$, H – высота круговой орбиты;
 i – наклонение орбиты;

ω – аргумент широты перигея орбиты ОО;

$L_{\text{э}0}$ – долгота «выхода ОО на экватор Земли» на начальном – «нулевом» витке;

$t_{\text{э}0}$: $t_{\text{э}0} \geq t^*$ и $t_{\text{э}0} - t^* \rightarrow \min$ – соответствующее время.

Проекция ЗВ пункта на поверхность Земли в Гринвичской системе координат может быть охарактеризована угловым размером окружности этой проекции (рис. 1).

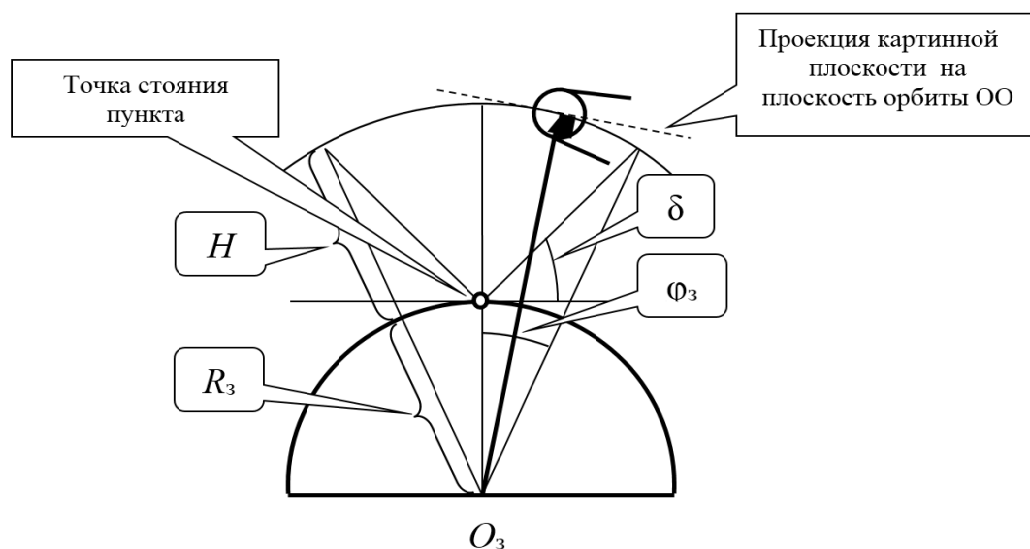


Рис. 1. Проекция ЗВ пункта на поверхность Земли

Указанный угловой размер может быть вычислен по формуле

$$\varphi_3 = \frac{\pi}{2} - \delta - \arcsin(R_3 / (R_3 + H) \cos \delta).$$

Угол между плоскостью орбиты OO , проходящей через точку стояния пункта и его меридианом – α определяется из сферического прямоугольного $\triangle ADC$ (рис. 2).

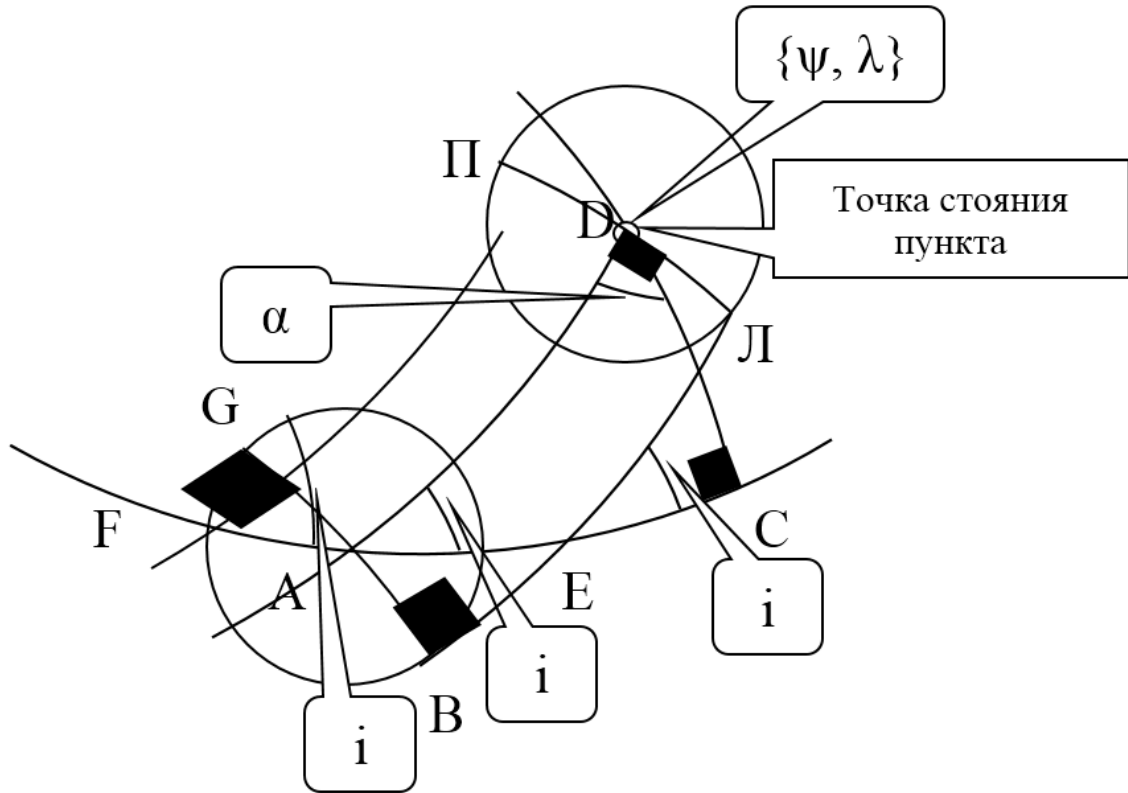


Рис. 2. Определение углов по сферическому прямоугольному $\triangle ADC$

С использованием пятиугольника Непера (рис. 3),

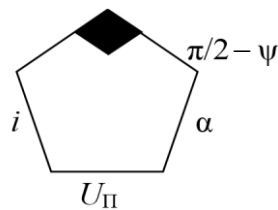


Рис. 3. Пятиугольник Непера

по одноименному правилу этот угол рассчитывается по формуле

$$\sin \alpha = \cos i / \cos \psi, \alpha \in [0, \pi/2], \psi \neq \pi/2.$$

Аргумент широты точки стояния пункта как подспутниковой точки OO , – $U_\Pi = \sphericalangle AD$ (рис. 2) определяется из этого $\triangle ADC$ по формулам

$$\begin{cases} \sin U_\Pi = \sin \psi \cdot \sin i, \\ \cos U_\Pi = \text{ctg } i \cdot \text{ctg } \alpha. \end{cases}$$

Из сферического прямоугольного $\triangle ABE$ (рис. 2) по правилу Непера (рис. 4) может быть получена $\sphericalangle BE$

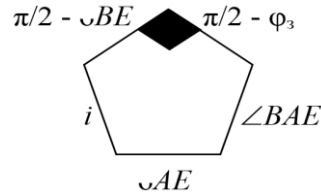


Рис. 4. Пятиугольник Непера

$$\sin \angle BE = \operatorname{ctg} i \cdot \operatorname{tg} \varphi_3,$$

откуда:

1) $\angle EL = U_{\Pi} - / + \angle BE$ (знак «-» применяется для прямых орбит ОО, знак «+» – для обратных орбит ОО);

2) $\angle FP = U_{\Pi} + / - \angle BE$ (знак «+» применяется для прямых орбит ОО, знак «-» – для обратных орбит ОО).

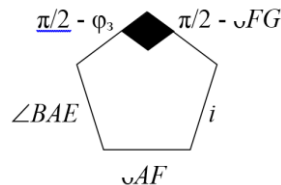
Проекция $\angle AB$ на экватор Земли составит дугу $\angle AE$, которая может быть определена из сферического прямоугольного $\triangle ABE$ (рис. 2) по правилу Непера (рис. 4)

$$\begin{cases} \sin \angle AE = \sin \varphi_3 / \sin i, \\ \operatorname{ctg} \angle AE = \cos i / \operatorname{tg} \angle BE. \end{cases}$$

Из этого же треугольника может быть получен $\angle BAE$

$$\begin{cases} \cos \angle BAE = \cos \angle BE \cdot \sin i, \\ \sin \angle BAE = \cos i / \cos \varphi_3. \end{cases}$$

Проекция $\angle AG$ на экватор Земли составит дугу $\angle AF$, которая может быть определена из сферического прямоугольного $\triangle AGF$ (рис. 2) по правилу Непера (рис. 5)

Рис. 5. Пятиугольник Непера для определения $\angle AF$

$$\begin{cases} \cos \angle AF = \cos \varphi_3 \cdot \cos \angle BE, \\ \sin \angle AF = \sin \angle BE / \sin \angle BAE. \end{cases}$$

Время движения ОО от точки E до точки L составит величину

$$\Delta t_{EL} = \angle EL / (2 \cdot \pi) \cdot T,$$

где $T = (2 \cdot \pi) \sqrt{\frac{a^3}{K_3}}$;

$K_3 = 398600,44 \text{ км}^3/\text{с}^2$ – гравитационная постоянная Земли.

Время движения ОО от точки F до точки Π составит величину

$$\Delta t_{F\Pi} = \angle F\Pi / (2 \cdot \pi) \cdot T.$$

Смещение за счет вращения Земли составит величину

1) для точки E : $\Delta\omega_E = \omega_3 \cdot \Delta t_{EЛ}$, где $\omega_3 = (2 \cdot \pi)/T_{ЗВ}$ – угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси;

2) для точки F : $\Delta\omega_F = \omega_3 \cdot \Delta t_{FП}$.

Исходя из этого наклонные проекции будут иметь долготы

1) для точки Л: $\lambda_L = \lambda_A + \sphericalangle AE + \Delta\omega_E$;

2) для точки П: $\lambda_P = \lambda_A + \sphericalangle AF + \Delta\omega_F$.

В первом приближении можно считать, что угловой размер ЗВ пункта для восходящей ветви и для нисходящей ветви траектории ОО равны $\lambda_L - \lambda_P = \Delta\lambda = \text{const}$ и что ищется пессимистическая оценка числа витков, которые совершает ОО за время

$$\Delta T - q^* = E[(T_k - T_n) / T].$$

Принципиально возможны два случая:

1) наклонные проекции ЗВ пункта не пересекаются или касаются друг друга: $\Delta\lambda_{MB} \geq \Delta\lambda$ (рис. 6).

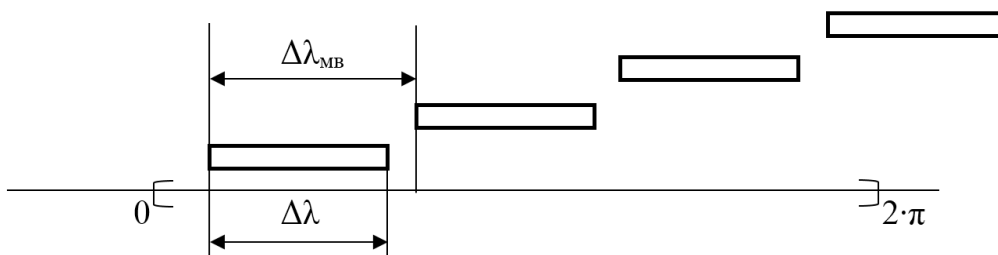


Рис. 6. Наклонные проекции ЗВ пункта при $\Delta\lambda_{MB} \geq \Delta\lambda$

При $(T_k - T_n) \leq T_{ЗВ}$ вероятность пролета ОО через ЗВ пункта определяется выражением

$$P_{ЗВ} \approx 2 \cdot \Delta\lambda \cdot q^* / (2 \cdot \pi).$$

При $(T_k - T_n) > T_{ЗВ}$ вероятность пролета ОО через ЗВ пункта определяется выражением

$$P_{ЗВ} \approx 2 \cdot \Delta\lambda \cdot q^* / (\omega_3 \cdot (T_k - T_n)).$$

2) наклонные проекции ЗВ пункта пересекаются: $\Delta\lambda_{MB} < \Delta\lambda$ (рис. 7).

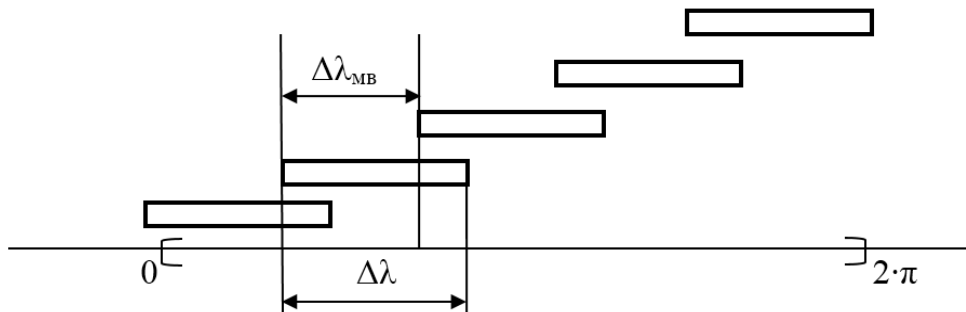


Рис. 7. Наклонные проекции ЗВ пункта при $\Delta\lambda_{MB} < \Delta\lambda$

При $(T_k - T_n) \leq T_{ЗВ}$ вероятность пролета ОО через ЗВ пункта определяется выражением

$$P_{ЗВ} \approx 2 \cdot \Delta\lambda_{MB} \cdot q^* / (2 \cdot \pi).$$

При $(T_k - T_n) > T_{зв}$ вероятность пролета ОО через ЗВ пункта определяется выражением

$$P_{ЗВ} \approx 2 \cdot \Delta\lambda_{мв} \cdot q^* / (\omega_з \cdot (T_k - T_n)).$$

Предлагаемая модель является достаточно общей и пригодной для решения задач более высоких уровней иерархии: прогнозирования вероятностей успешного применения ОО по пространственно-временным областям, расположенным на поверхности Земли, визуализации характеристик применения ОО и некоторых других. Однако, использование в ней допущения о круговых орбитах ОО указывает на ограниченность применения, что делает актуальным дальнейшее развитие предлагаемого подхода для других видов орбит.

Список используемых источников

1. Минаков Е.П., Мусиенко С.А., Шафигуллин И.Ш. Сборник основных терминов, понятий и определений по вопросам оценивания эффективности и моделирования применения специальных организационно-технических систем: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 184 с.
2. Минаков Е.П., Шафигуллин И.Ш. Модели оценивания эффективности применения орбитальных группировок космических систем: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 88 с.

В.В. Шмелёв,
кандидат техн. наук

КОРПОРАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ И ПУСКОМ РАКЕТЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Изложены основные понятия из области современной корпоративной информационной системы (КИС) управления технологическими процессами применительно к космической деятельности. Проведена проекция общепринятой структуры КИС на комплекс автоматизированных систем управления (АСУ) универсального наземного комплекса подготовки и пуска ракеты космического назначения (ПП РКН), функционирующего на космодромах. Уточнена структура корпоративной информационной системы АСУ ПП РКН, определены задачи основных и промежуточных систем. Сформулированы достоинства внедрения КИС в АСУ ПП РКН.

Ключевые слова: корпоративная информационная система, SCADA, MES, ERP, OLAP, MIS, EMI, PDM, PLM, PPM, информационное обеспечение АСУ, информационные технологии

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка и пуск ракеты космического назначения (РКН) является сложным технологическим процессом, среди его характеристик наиболее важными являются временная и пространственная распределенность, нестрогость структурного построения, т. е. возможность реализации различных траекторий развития процесса. Естественным является стремление автоматизации данного процесса. С этой целью создается и функционирует комплекс автоматизированных систем управления универсального наземного комплекса, который согласно [1] является совокупностью функционально взаимосвязанных автоматизированных систем, предназначенных для управления процессами подготовки и пуска РКН различных классов или базовой ракеты-носителя конкретного класса с различными разгонными блоками на универсальном техническом комплексе [в дальнейшем такой комплекс для краткости будем называть *автоматизированной системой управления подготовкой и пуском (ПП) РКН (АСУ ПП РКН)*].

Среди определенных [2] видов обеспечения автоматизированной системы подготовки и пуска РКН обязательно присутствует информационное обеспечение как совокупность форм документов, классификаторов, нормативной базы и реализованных решений по объемам, размещению и формам существования информации, применяемой в автоматизированной системе при ее функционировании. Предметом рассмотрения в статье является информационное обеспечение АСУ ПП РКН.

В настоящее время является актуальным [3] построение информационного обеспечения автоматизированных систем управления, в том числе, и военного назначения по принципу единого информационного пространства. Данный принцип заключается в обеспечении совместимости структуры передаваемой информации, удовлетворении пропускных ограничений на информационные потоки, адаптации программного обеспечения к учету всей восходящей и нисходящей по уровням управления информации. Для реализации на практике этого принципа в гражданской промышленности создаются и внедряются корпоративные информационные системы (КИС). Поэтому проведение проекции структуры и задач современных КИС гражданского назначения на информационное обеспечение АСУ ПП РКН является обоснованным и перспективным.

Теоретической и практической базой КИС являются информационные технологии. Современное развитие информационных технологий обеспечило их активное внедрение

в различные области человеческой деятельности. Стремление автоматизировать процессы в промышленности привело к созданию и широкому внедрению так называемых *CALS*-систем. Первоначально понятие *CALS* расшифровывалось как «комплексная поддержка поставок» (*Computer Aided Logistic Support*), а в настоящее время – как «непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта» (*Continuous Acquisition and Life-cycle Support*). В зависимости от этапа жизненного цикла продукта производства (проектирования, производства, использования и утилизации) практическая реализация таких систем заключалась в создании отдельной автоматизированной системы проектирования, производства, использования и утилизации продукта производства.

В настоящий момент традиционные задачи всех типов *CALS*-систем широко известны [4] применительно к промышленным предприятиям производства или торговли и т. п. При практическом применении осуществляется уточнение функций *CALS*-систем в каждой предметной области. Уточненные варианты построения *CALS*-систем и получили названия *КИС такой-то области применения* (например, распределенный Центр обработки данных, внедренный в ОАО «РКЦ» «Прогресс» [5]). Обзор открытых источников печати не позволил однозначно и качественно получить систематизированное описание КИС подготовки и пуска РКН. С точки зрения общих принципов построения такой КИС, известны материалы [6], но в них не уделено достаточного внимания взаимосвязям уровней управления и обеспечивающим системам.

Таким образом, целью статьи является обобщение информации о структуре перспективной КИС АСУ ПП РКН, выявление взаимосвязей между уровнями КИС, а также определение структуры, взаимосвязей, функций и задач обеспечивающих подсистем. Статья носит информационный характер, позволяющий конкретизировать направления будущих исследований и разработок.

СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ КИС АСУ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И АСУ ПП РКН

На сегодняшний день традиционным представлением корпоративной системы автоматизации промышленного предприятия является так называемая пирамида автоматизации (рис. 1), которая включает следующие известные четыре типовых уровня [7]:

- нижний уровень автоматизации технологического процесса – автоматизированные системы диспетчерского управления *SCADA* (*Supervisory Control And Data Acquisition*), контроллеры и распределенные системы управления *DCS* (*Distributed Control Systems*);
- средний уровень оперативного управления – системы оперативного управления производством *MES* (*Manufacturing Execution System*);
- верхний уровень бизнес-систем управления ресурсами предприятия *ERP* (*Enterprise Resource Planning System*);
- высший уровень агрегирования и анализа информации – системы аналитической обработки информации *OLAP* (*On Line Analytical Processing*).

В правой части пирамиды представлено предлагаемое содержание КИС АСУ ПП РКН по соответствующим уровням.

Территориально и организационно уровни КИС являются достаточно размытыми, но в некотором приближении можно сказать следующее.

Нижний уровень КИС АСУ ПП РКН – это информационное обеспечение АСУ технологических процессов (ТП). Оно должен обеспечить контроль технического состояния и управление отдельными системами и агрегатами РКН и технологическим оборудованием, задействованным при подготовке и пуске РКН. Это уровень задач, выполняемых непосредственно расчетами ОИИЧ, работающими на технике. *SCADA*-системы данного уровня в настоящий момент достаточно качественно изготавливаются и внедряются предприятиями промышленности, ответственными за соответствующие агрегаты и системы РКН. В качестве примера можно назвать автоматизированную систему отработки аппаратуры и программ

системы управления ракетно-космической техники, разработанную и внедренную в НПО автоматики имени академика Н.А. Семихатова (г. Екатеринбург) [8].

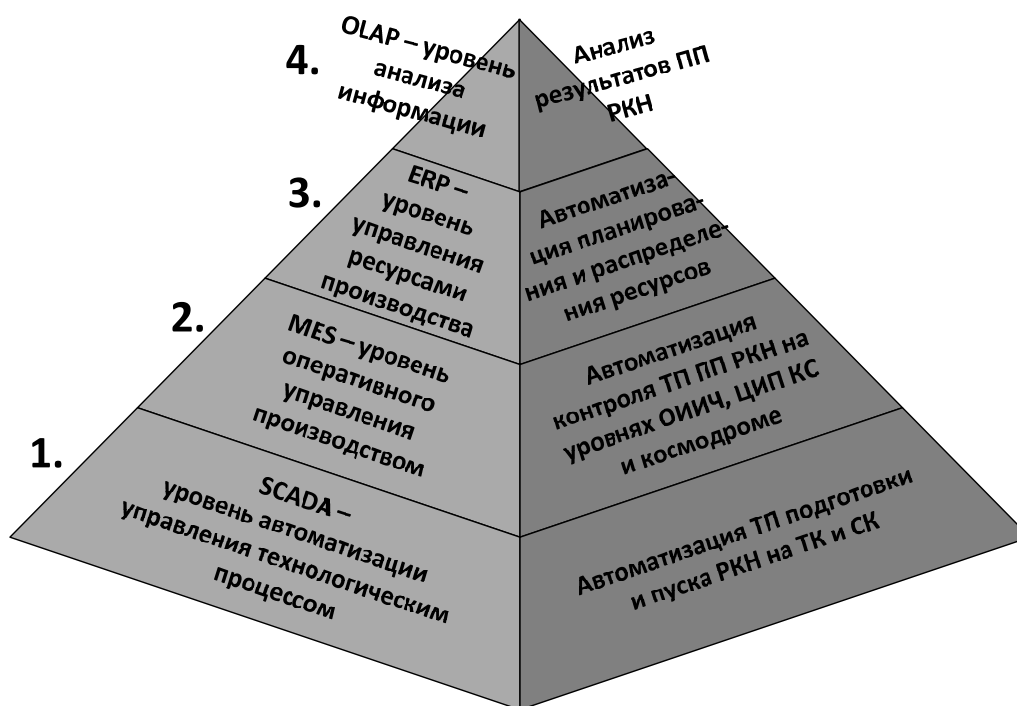


Рис. 1. Пирамида автоматизации промышленного предприятия и технологического процесса подготовки и пуска РКН:

ТП – технологический процесс;

ОИИЧ – отдельная инженерно-испытательная часть;

ЦИП КС – центр испытаний и применения космических средств;

ТК – технический комплекс, СК – стартовый комплекс

Следующий (второй) уровень автоматизации контроля ТП ПП РКН на уровнях ОИИЧ, ЦИП КС и космодрома в режиме реального времени инициирует, отслеживает, оптимизирует, документирует процессы подготовки и пуска РКН от прибытия составных частей РКН на космодром до применения по назначению. Таким образом, в соответствии с представленными функциями задачей *MES*-системы на данном уровне КИС АСУ ПП РКН является оперативный контроль и управление всеми процессами при ПП РКН. Отличием задач данного уровня от предыдущего является обобщение результатов контроля на отдельных местах и, следовательно, осуществление оперативного планирования дальнейшего развития ПП РКН в зависимости от результатов контроля. Данный уровень – это уровень задач, решаемых расчетами ЦИП КС и руководителями ПП РКН от ОИИЧ, ЦИП КС и космодрома. Внедрение на практике качественных систем данного уровня в настоящий момент проходит стадию испытаний. Примером может служить АСУ ПП РКН «Союз-2», внедряемая на космодроме Плесецк [6].

Уровень автоматизации планирования и распределения ресурсов (третий), кроме организации всех видов обеспечения ПП РКН, также систематизирует всю информацию о РКН. Видами информации о РКН является организационно-техническая информация, технологическая информация, измерительная информация, информация о результатах испытаний, информация от различных информационных и управляющих систем. *ERP*-система должна обеспечивать одновременный доступ к указанной информации всех заинтересованных лиц в соответствии с правами доступа. Уровень автоматизации планирования и распре-

деления ресурсов – уровень задач, выполняемых отделами и службами космодрома и руководителем в целом процессом ПП РКН на космодроме.

Верхний уровень (четвертый) анализа результатов ПП РКН обеспечивает обработку, систематизацию и анализ всей информации по текущему ТП ПП РКН в совокупности с результатами предыдущих ТП ПП РКН данного типа. Последний уровень соответствует уровню советов главных конструкторов и руководителей предприятий промышленности, производящих РКН.

Качественных *ERP*- и *OLAP*-систем в настоящий момент не внедрено. Информация между данными и нижестоящими уровнями циркулирует в большинстве случаев только по локальной сети в виде текстовых отчетов, справок, докладов. Однако следует отметить, что порядок представления и форма документов строго регламентированы отраслевыми стандартами. Систематизация информации на данных уровнях достаточно примитивна, заключается в обобщении и хранении.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА КИС АСУ ПП РКН

Приведенное четырехуровневое представление концепции пирамиды автоматизации достаточно наглядно отображает иерархию подсистем. Однако для реальных современных КИС обозначить границы уровней детально не всегда представляется возможным. При этом степень интеграции непосредственно определяется особенностями объекта автоматизации, на котором осуществляется внедрение самой КИС. Очевидно, что полноценное описание КИС АСУ ПП РКН требует более сложного представления. За основу такого представления взята структура систем промышленной автоматизации от Siemens [7].

На рис. 2 представлена структура КИС АСУ ПП РКН, которая позволяет оценить степень оперативности работы каждой системы.

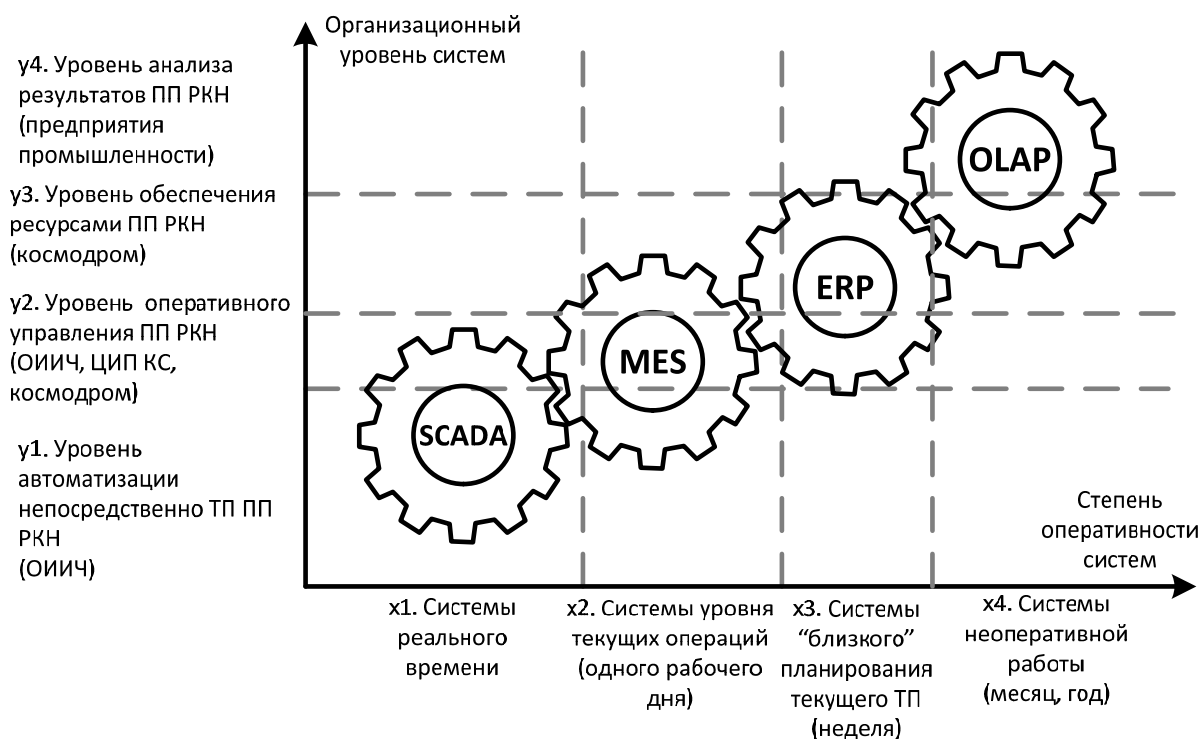


Рис. 2. Функционально-временная структура КИС АСУ ПП РКН

В отличие от традиционного представления для более полного описания процессов взаимодействия компонентов предлагается использовать двумерную систему координат. Ось ординат аналогична вертикали пирамиды автоматизации и также содержит четыре уровня:

- у1 – автоматизации непосредственно ТП (*SCADA*);
- у2 – оперативного управления ПП (*MES*);
- у3 – планирования и распределения ресурсов, систематизации информации (*ERP*);
- у4 – анализа результатов ПП РКН.

Как известно, описание того или иного объекта в обязательном порядке включает перечень вопросов, связанных с процессами обработки данных. Именно поэтому в предлагаемой модели вводится вторая координатная ось – ось абсцисс, на которой непосредственно отображены следующие четыре типа систем обработки данных: x_1 – реальное время; x_2 – уровень, близкий к реальному времени; x_3 – уровень «близкого» планирования, предполагающий краткосрочное накопление информации; x_4 – уровень послеполюетного или этапного анализа информации и результатов ПП РКН.

Исходя из перечисленных задач и требований, предъявляемых к каждой из систем заданного класса, системы *SCADA* занимают уровень x_1 , *MES* охватывает уровни x_1 и x_2 , а *ERP* принципиально могут занимать все три уровня обработки данных $x_1...x_3$, хотя на практике обычно охватывают только x_2 и x_3 , *OLAP* охватывает только x_4 , однако должны воздействовать на ПП РКН и на уровне x_3 .

Конечно, можно сказать, каждая из данных систем (*SCADA*, *MES*, *ERP* и *OLAP*) является самодостаточной при условии информационной совместимости с ниже- и вышестоящими. Поэтому до настоящего времени такие системы разрабатывались обособленно [6]. Вследствие этого создавались отдельные АСУ всех технологических процессов подготовки и пуска, затем для каждой АСУ ТП – отдельные автоматизированные рабочие места, иногда объединенные локальной вычислительной сетью. Применение информационных технологий на уровнях *ERP* и *OLAP* заключалось лишь в создании сложных и защищенных баз данных, а также в организации локальных вычислительных сетей, защищенных и, максимум, с удобным интерфейсом для передачи данных. При таком подходе созданные на разных аппаратно-программных платформах АСУ слабо взаимодействуют между собой, их сложно включить в единый цикл подготовки и пуска и образовать КИС автоматизации всех процессов.

В этом случае АСУ уровня *MES* практически превращается в систему информационного обеспечения, а не информационно-управляющую систему, при этом возрастает избыточность аппаратно-программных средств, снижается надежность, возрастает стоимость разработки, эксплуатации АСУ и содержания ЗИП. То же относится и к системам уровней *ERP* и *OLAP*, помимо того становящихся крайне неоперативными даже при условии отсутствия жестких требований к оперативности их работы – причиной этого является длительность преобразования информации между данными и нижестоящими системами.

ЗАДАЧИ MIS, EMI, PDM, PLM И PPM-СИСТЕМ В КИС АСУ ПП РКН

Информационный поиск, рассмотрение и анализ современных тенденций в построении КИС АСУ сложных технологических процессов и технических объектов [4, 7] позволяет сделать вывод о том, что КИС АСУ ПП РКН в дополнение к уже описанным основным системам должна быть доукомплектована вспомогательными или обеспечивающими системами.

Следует отметить, что в настоящий момент времени не существует устоявшегося и общепринятого варианта полной концепции КИС. Многие производители вводят [4] собственные термины и обозначения, описывающие промежуточные уровни интеграции и взаимодействия *MES* с *ERP* и *SCADA*, а также между *ERP* и *OLAP*, которые необходимы для демонстрации тех или иных достоинств продукта с точки зрения их применения в конкретной предметной области. Зачастую использование расширенной модели поставляемой системы автоматизации, наполненной новыми аббревиатурами и терминами, является маркетинговым

ходом, но при этом затрудняет анализ функциональных возможностей предлагаемой системы. Как следствие, на рынке систем промышленной автоматизации появляются гибридные продукты, которые совмещают функции соседних уровней и позиционируются как некие универсальные системы.

Наиболее распространенными вспомогательными системами КИС являются следующие пять систем (задачи систем приведены в общепринятой постановке [4, 5]):

1. *MIS* – это система сбора, обработки, хранения и трансляции данных о внутренних операциях и внешних событиях ТП, которая обеспечивает своевременный доступ и предоставление информации в соответствующем формате, необходимом для организации контроля, планирования и оперативного управления (*Manufacturing Information System*);

2. *EMI* – централизованная система сбора данных о ТП и их последующей смысловой интерпретации или преобразования из вида, циркулирующего непосредственно в ТП, в более общий вид (*Enterprise Manufacturing Intelligence*);

3. *PDM* – организационно-техническая система, обеспечивающая управление информацией о продукте или ТП на всем жизненном цикле от концепции, через проектирование и производство, до продажи, инсталляции, последующей эксплуатации/обслуживания/технической поддержки и демонтажа/утилизации (*Product Data Management*);

4. *PLM* – это система управления информацией об изделии, а также формирования и отслеживания планов всех этапов (см. определение *PLM*-системы) его существования (*Product Lifecycle Management*);

5. *PPM* – система управления эффективностью производства через информацию о проектах в «длинной» перспективе, включающая календарное и ресурсное планирование в соответствии с будущими задачами АСУ (*Project and Portfolio Management*).

На рис. 3 представлена структура КИС АСУ ПП РКН с добавлением вспомогательных систем.

Рассмотрим задачи каждой из предлагаемых систем применительно к предметной области ПП РКН.

Основной формой выходных данных современных *SCADA*-систем при их внедрении является совокупность результатов измерений (телеизмерений) параметров контролируемых и управляемых процессов. Поэтому задачей *MIS*-системы является сбор измерительной информации в соответствии с требованиями (планом-заданием или заданием на обработку и т. п.) системы верхнего уровня, обработка измерительной информации с целью оптимизации ее свойств (например, повышение достоверности и уменьшение избыточности), а также резервное хранение такой информации. В настоящий момент следует отметить, что данная задача в ракетно-космической отрасли достаточно успешно решена путем стандартизации информационных потоков нижнего уровня и внедрения современных методов обработки результатов измерений.

Как было сказано ранее, *MES*-система в КИС АСУ ПП РКН предназначена для управления всей информацией о текущем ТП ПП РКН. Управление такой информацией заключается в сборе, анализе и выдаче управляющих воздействий в *SCADA*-систему в виде планов ТП или технологических графиков (таблиц хронометража, диаграмм Ганта и т. п.).

Кроме того, для наиболее оптимального снабжения ресурсами и глобального планирования ТП ПП РКН данная система должна систематизировать и в интерпретированном виде представлять этапные результаты в *ERP*-систему.

Таким образом, задачу промежуточной *EMI*-системы можно сформулировать следующим образом – система должна преобразовывать разнородную (числовую, вербальную, качественную) информацию в строго регламентированное описание состояний ТП ПП РКН. Аналогом данной задачи в теории диагностирования можно назвать задачу агрегирования информации о техническом состоянии объекта диагностирования в информацию о виде технического состояния объекта [6].

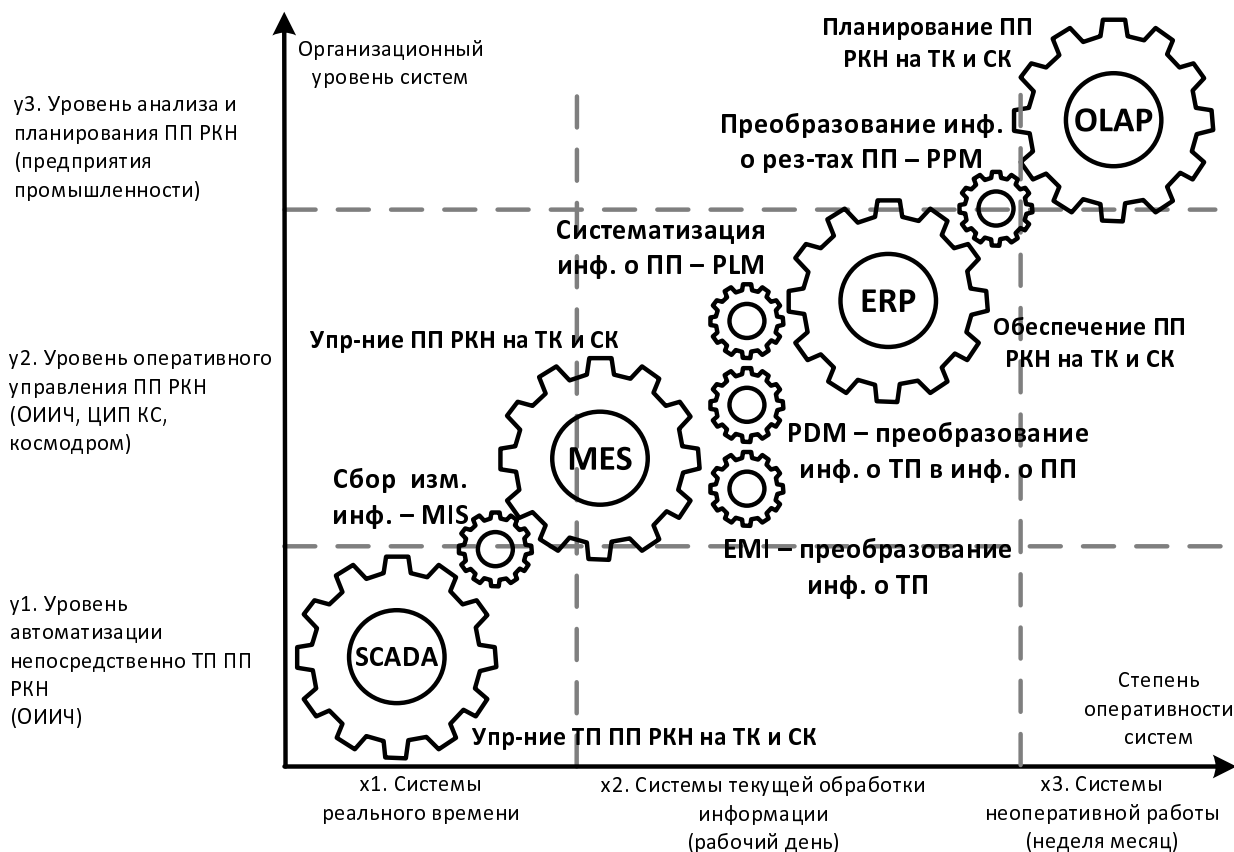


Рис. 3. Структура КИС АСУ ПП РКН, усовершенствованная путем внедрения вспомогательных MIS, EMI, PDM, PLM и PPM-систем

Предназначение *PDM*-системы можно определить как систематизацию агрегированной информации, поступающей от *MES*-системы. Под *систематизацией* следует понимать организацию хранения, ориентированного на смысловое содержание, с обеспечением структурированности. Примером подобной систематизации информации можно назвать онтологический подход к хранению информации [9], когда создаются классы и подклассы знаний об объекте или ТП. Онтология – это формальное описание знаний о РКН, аналогичное в некоторой степени человеческому представлению и представленное в форме, воспринимаемой компьютерной системой. Онтология состоит из примитивов представления знаний в предметной области (технических понятий, предметов и процессов в предметной области ракетно-космической техники), а также различного рода семантических связей, поддерживаемых между примитивами. Первые шаги по внедрению подобного подхода к хранению информации о ПП РКН на космодроме Плесецк были предприняты в конце 2000-х при совершенствовании программно-алгоритмического обеспечения средств измерительного комплекса космодрома.

Так как ПП РКН является распределенным во времени сложным процессом с заранее не определенной траекторией развития, то в качестве задачи *PLM*-системы следует определить систематизацию результатов ПП РКН во времени. Это означает создание, отслеживание, контроль и перепланирование технологических графиков ПП РКН. Таким образом, руководящий ПП РКН уровень получит информацию о текущем состоянии процесса ПП не только по видам технического состояния РКН, но и информацию в динамике ее изменения. При этом данная система должна быть способной представлять не только прошлое и текущее состояние, но и прогнозировать развитие ТП ПП по различным вариантам в будущем. Кажущаяся простота задач *PLM*-систем является обманчивой, так как существующие системы

моделирования и, следовательно, синтеза, контроля и отображения ТП являются не приспособленными для работы со специфичными процессами ПП РКН [10]. Причиной такой неприспособленности является наличие процессов событийного типа, временного типа, вложенных процессов, условных процессов, определяемых не временными величинами, а результатами измерений, вычислений или вообще плохо формализуемыми правилами (человеческим фактором).

Совокупность систем *SCADA–MES–ERP* со вспомогательными системами является самодостаточной по имеющейся информации в рамках одного цикла ПП РКН при штатном (ожидаемом) развитии ТП ПП РКН. Однако при любом значимо нештатном развитии ТП возникает необходимость обращения к данным и знаниям по другим циклам ПП РКН (завершенным или подобным). Извлечение, интерпретация и адаптация к текущим условиям информации является задачей совокупности систем *PLM–PDM–EMI*. Таким образом, данные системы должны быть способны проводить обратное преобразование информации, проекцию условий и характеристик и оценок прошедших и аналогичных циклов ПП РКН на текущий процесс ПП РКН.

Окончательная систематизация всей информации по текущему циклу ПП РКН, ее статистическая обработка и интеллектуальный анализ в соответствии с требованиями онтологии предметной области производства, испытания и применения ракетно-космической техники – задача *PPM*-системы. Можно сказать, что *PPM*-система является аналогом *PDM*-системы, но более высокого уровня.

Практическая реализация *EMI*, *PDM*, *PLM* и *PPM*-систем в информационном обеспечении АСУ ПП РКН на российских космодромах давно назрела в условиях наличия примеров [5, 6] успешного внедрения современных информационных технологий на отдельных этапах жизненного цикла РКН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование при проектировании КИС АСУ ПП РКН современных принципов организации КИС путем внедрения описанных обеспечивающих систем позволит:

- повысить эффективность мониторинга и управления процессами подготовки и пуска;
- сократить количество аппаратно-программных средств и, соответственно, численность персонала;
- унифицировать аппаратные и программные средства АСУ;
- автоматизировать сбор, интеграцию и комплексный анализ всех видов информации, циркулирующей как отдельно на уровнях АСУ, так и между уровнями КИС АСУ ПП РКН;
- оперативно доставлять всю технологическую информацию, необходимую для принятия управленческого решения (в автоматическом или ручном режиме);
- избавиться от субъективного (человеческого) фактора, который зачастую мешает принятию взвешенного единственно правильного решения при ПП РКН, особенно в нештатных, критических ситуациях;
- проводить мониторинг и управление в реальном масштабе времени всеми процессами ПП РКН в целом;
- моделировать отдельные этапы, выявлять критические участки и слабые звенья процессов ПП;
- организовывать доступ к данным, отражающим не только весь процесс ПП РКН, но и весь объем конструкторской, эксплуатационно-технической и методической документации, результаты заводских, стендовых, автономных, комплексных и летных испытаний РКН;
- накапливать и использовать опыт персонала, полученный при проектировании, производстве и эксплуатации систем и агрегатов РКН.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. – М.: Госстандарт России, 2010.
2. ГОСТ 34.003-90. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Госстандарт СССР, 1990.
3. *Баранюк В.В.* Основные направления создания единого информационного пространства ВС РФ // *Военная мысль*. – 2004. – № 11. – С. 29–34.
4. *Левин Д., Малюх В., Ушаков Д.* Энциклопедия PLM. – Новосибирск: Азия, 2008. – 448 с.
5. *Филатов А.Н.* Фундамент для управления жизненным циклом ракетно-космической техники уже создан // *Электронный журнал CAD/CAM/CAE Observer*. – URL: <http://www.cadcamcae.lv/N92/08-22.pdf> (дата доступа 19.01.2015).
6. Теория и практика построения автоматизированных систем мониторинга технического состояния космических средств: моногр. / О.В. Майданович, В.А. Каргин, В.В. Мышко, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов; под ред. О.В. Майдановича. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 219 с.
7. *Шотин А.Г., Занин И.В., Бурдин А.В.* MIS и EMI: информационные системы уровня MES // *Автоматизация в промышленности*. – 2009. – № 9. – С. 28–34.
8. *Мигунова С.Р., Журавлев А.В., Шашмурин И.В.* Автоматизация анализа результатов испытаний: универсальный редактор конфигурационных файлов // *Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения: сб. тр. Всероссийской научно-техн. конф.* – 2014. – Ч. 2, т. 3. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. – С. 158–164.
9. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
10. *Шмелев В.В., Самойлов Е.Б.* Модели операций технологического процесса и контроля правильности их выполнения // *Техника средств связи*. – 2013. – № 4. – С. 54–60.

В.В. Шмелёв,
кандидат техн. наук;
В.В. Ткаченко,
кандидат техн. наук

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Основная цель работы заключается в систематизации требований, предъявляемых к программным комплексам обработки и анализа (ОА) телеметрической информации (ТМИ). Для решения этой задачи в статье проведен системный анализ задач ОА ТМИ ракет-носителей (РН), сформирован технологический график ОА ТМИ и выделены основные этапы ОА ТМИ, приведен перечень руководящих документов по обработке ТМИ и оцениванию летно-технических характеристик (ЛТХ), сформулированы требования к специальному программному обеспечению (СПО) ОА ТМИ. Также приведены результаты анализа недостатков эксплуатируемого специального программного обеспечения (СПО) ОА ТМИ, сформулированы выводы о необходимости разработки унифицированного аппаратно-программного комплекса (АПК) ОА ТМИ.

Ключевые слова: технологический график, специальное программное обеспечение, обработка и анализ телеметрической информации.

В настоящее время – время активного совершенствования вооружения и военной техники (ВВТ) – актуальной является задача объективного и обоснованного формирования тактико-технических требований в технические задания. Достаточно непростой задачей является грамотный, всесторонний и высококачественный анализ текущего состояния ВВТ с целью формирования направлений ее совершенствования.

Для качественной модернизации существующих АПК ОА ТМИ необходимо произвести анализ существующего комплекса мероприятий по ОА ТМИ и возможностей применяемого СПО ОА ТМИ при выполнении целевых задач подразделениями обработки и анализа ТМИ в ходе подготовки и пуска РН. В число задач, решаемых подразделениями обработки и анализа ТМИ, входят изучение, комплексный анализ и выработка предложений по совершенствованию специального программного обеспечения обработки и анализа ТМИ, используемого в отделе анализа ТМИ и оценивания ЛТХ РН и РБ космодрома Плесецк [1]. Для решения такого рода задач применяется подход, заключающийся в комплексном анализе технологического процесса обработки и анализа ТМИ по результатам пуска РН.

На примере РН «Союз-2» проведен анализ технологического процесса ОА ТМИ по результатам пуска РН, позволивший сформировать соответствующий технологический график, представленный на рис. 1. Затем определен перечень документации, необходимой для работы с ТМИ на каждом этапе обработки информации, выявлены особенности промежуточных и итогового результатов, получаемых на каждом из этапов. Также проведен анализ штатных образцов СПО, используемых в настоящий момент в войсках ВКО при проведении ОА ТМИ РН «Союз-2».

На этапе полета изделия осуществляется оперативная обработка ТМИ, заключающаяся в ведении репортажа о текущем состоянии систем и агрегатов РН по наиболее показательным телеметрируемым параметрам (ТМП). При работе используется следующая документа-

ция: «Инструкция по обработке информации», часть 3; «Исходные данные для автоматизированной обработки информации», книга 4; «Исходные данные для автоматизированной обработки ТМИ при полете изделия», в соответствии с которой производится обработка ТМИ и формируются исходные данные.

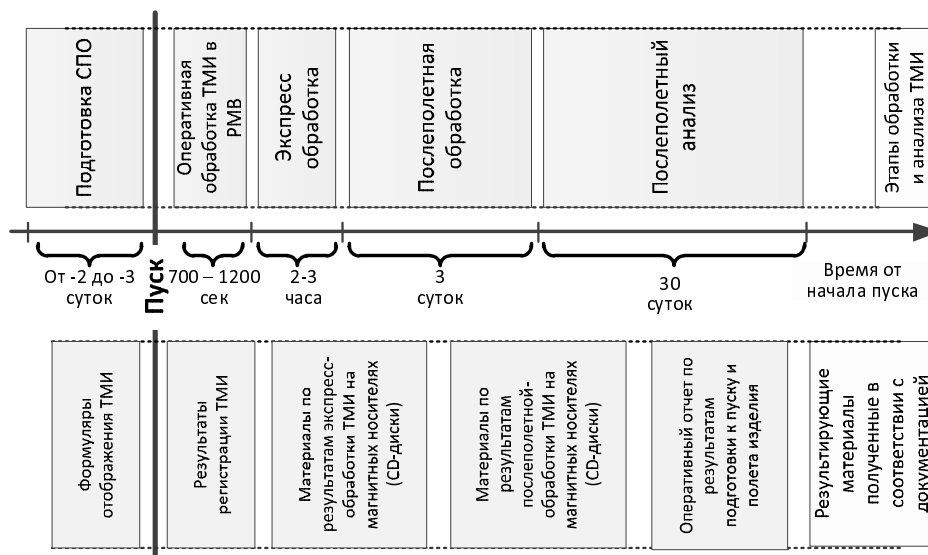


Рис. 1. Типовой технологический график обработки и анализа ТМИ по результатам подготовки и пуска РН 14А14 («Союз-2»)

В инструкции по обработке информации приведены перечень параметров и их распределение по формулярам отображения, подлежащие автоматизированной обработке в интересах оперативного анализа (для ведения репортажа о полете изделия в реальном масштабе времени) (табл. 1).

Особенностью ведения репортажа является необходимость вывода на экран в РМВ одновременно нескольких ТМП, что становится первым требованием к СПО. В табл. 2 представлены перечень рабочих мест (РМ) и количество выводимых на каждое РМ ТМП.

Таблица 1

Перечень параметров подлежащих автоматизированной обработке и их распределение по формулярам отображения

Наименование и № рабочего места анализатора	№ формуляра	Наименование формуляра	Интервал отображения
РМ1 – анализ функционирования ДУ боковых блоков	101	Параметры ДУ блока «Б»	До ~ 120 с полета
	102	Параметры ДУ блока «Б»	
	103	Параметры ДУ блока «В»	
	104	Параметры ДУ блока «В»	
	105	Параметры ДУ блока «Г»	
РМ2 – анализ функционирования ДУ блока «А»	113	Параметры ДУ блока «А»	До ~ 300 с полета
	114	Параметры ДУ блока «А»	
	115	Параметры ДУ блока «А»	
	116	Температуры ДУ блока «А»	

После пуска изделия, в соответствии с инструкцией по обработке информации на изделие 14А14, в которой приведены перечни параметров, подлежащих автоматизированной обработке в интересах экспресс анализа (в течение 2÷3-х часов после пуска), в информационно-

аналитическом центре Государственного испытательного космодрома (ИАЦ ГИК) формируются отчеты по каждому этапу обработки информации [3].

Отчеты по результатам обработки ТМИ выполняются на магнитных носителях (CD-дисках) и включают в себя:

- «усеченные» или «полные» файлы обработанной ТМИ (единый информационный массив в структуре «Дешифрованный US0»);
- файлы тарифовочных характеристик и описания телеметрических систем;
- программу просмотра обработанной ТМИ;
- технологические файлы с компоновкой параметров для работы программы просмотра обработанной ТМИ.

Таблица 2

Перечень рабочих мест и количество ТМП, выводимых на каждое РМ

Наименование РМ	Интервал задействия	Количество параметров
РМ1 – анализ функционирования ДУ боковых блоков	До ~ 120 с полета	36
РМ2 – анализ функционирования ДУ блока «А»	До ~ 300 с полета	24
РМ3 – анализ функционирования ДУ блока «И»	От ~ 250 с до ~ 540 с полета	21
РМ4 – анализ функционирования СУ (по функциональным и сигнальным параметрам)	До ~ 120 с полета	25
РМ5 – анализ функционирования СУ (по функциональным и сигнальным параметрам)	До ~ 300 с полета	35
РМ6 – анализ функционирования элементов конструкции	До ~ 540 с полета	12
РМ7 – отображение траектории движения	До ~ 540 с полета	18

В ходе экспресс-обработки ТМИ производится подготовка информации к анализу, а именно формируются около 70 отдельных файлов с ТМИ, 74 графика, содержащих результаты измерений, 800 функциональных и сигнальных ТМП. Пример распределения функциональных параметров по формулярам отображения для их документирования в интересах экспресс-анализа представлен в табл. 3. Данная информация вместе с дополнительными данными предоставляется в ИАЦ ГИК для экспресс-анализа. Особенностью информации является ее предоставление в специализированном формате us0.

Таблица 3

График 101 Параметры ДУ блока «Б». Интервал документирования: (-180 + 120) с

Наименование параметра	Индекс параметра
Давление воздуха после редуктора точной настройки	ВПРб
Угол поворота привода регулятора 8Л66М1	УППРб
Ток управления муфтами привода регулятора ВВР 8Л66М1	ТУПРб
Давление пероксида водорода после редуктора	ППРб

Перспективное СПО должно включать в свой состав алгоритмы преобразования результатов телеизмерений и автоматизированного ввода допусков и их применения к параметрам.

После достаточно быстрой экспресс-обработки в соответствии с «Инструкцией по обработке информации», осуществляется послеполетная или полная обработка всего потока зарегистрированных результатов телеизмерений по книге «Исходные данные для послеполетной обработки ТМИ РТСЦ» [4].

Формат предоставляемых данных не отличается от формата, используемого на этапе экспресс обработки ТМИ. Однако на данном этапе обрабатывается гораздо больший объем ТМИ, а также формируется так называемый «Единый носитель информации».

Сформированные данные рассылаются согласно расчету рассылки, где указываются адреса и информация, необходимая для полного анализа (табл. 4).

Таблица 4

Перечни графиков и таблиц обрабатываемых сигнальных параметров, подлежащих рассылке соответствующим адресатам в составе материалов послеполетной обработки

Адресат	Номера графиков функциональных параметров	Номера таблиц сигнальных параметров	Номера таблиц параметров цифровой ТМИ
РКЦ «Прогресс»	В полном объеме	В полном объеме	В полном объеме
ИАЦГИК	В полном объеме	В полном объеме	В полном объеме
Управление СВ КК	В полном объеме	В полном объеме	В полном объеме
ЦНИИ ВВКО	В полном объеме	В полном объеме	В полном объеме
ЦНИИМАШ	В полном объеме	В полном объеме	В полном объеме
НПО А им. Семихатова	101, 103, 105, 107, 110, 116, 123, 125, 20–233, 301, 40–402	Б.1–Б.7, В.1	В полном объеме
НПО Энергомаш им. Глушко	10–121	-	-
КБХА	123–127	-	-
ИПУ РАН	205, 206, 208, 210	-	3.3
МКБ «Компас»	40–402	В.1	-

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать требования к СПО на этапе послеполетной обработки ТМИ – это внедрение автоматизированных алгоритмов по повышению достоверности ТМИ.

Последний этап обработки и анализа ТМИ заключается в вычислении и сравнении с установленными допусками значений ЛТХ – наиболее важных числовых характеристик систем и агрегатов РН.

Порядок послеполетного оценивания ЛТХ определяется «Инструкцией по оценке работы бортовых систем» [5], при подготовке РН на заводе-изготовителе руководящим документом является «**Инструкция по оценке работы бортовых систем**», часть 2 «**Подготовка РН на заводе-изготовителе, ТК, СК и Хр.**», состоящая из четырех книг [6]:

1. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 2. Подготовка РН на заводе-изготовителе, ТК, СК и Хр. Книга 1. Система измерений.

2. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 2. Подготовка РН на заводе-изготовителе, ТК, СК и Хр. Книга 2. Система управления и двигательные установки.

3. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 2. Подготовка РН на заводе-изготовителе, ТК, СК и Хр. Книга 3. Цифровой массив системы управления.

4. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 2. Подготовка РН на заводе-изготовителе, ТК, СК и Хр. Книга 4. Система внешнетраекторных измерений.

Оценка работы бортовых систем в полете осуществляется в соответствии с «Инструкцией по оценке работы бортовых систем», часть 3 «Оценка работы бортовых систем в полете» [7], состоящая из пяти книг:

1. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 3. Оценка работы бортовых систем в полете. Книга 1. Оценка и контроль работы системы управления.
2. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 3. Оценка работы бортовых систем в полете. Книга 2. Оценка и контроль двигательных установок.
3. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 3. Оценка работы бортовых систем в полете. Книга 3. Оценка и контроль работы конструкции.
4. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 3. Оценка работы бортовых систем в полете. Книга 4. Оценка энергетических характеристик.
5. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Часть 3. Оценка работы бортовых систем в полете. Книга 5. Объем и форма оперативного отчета по результатам подготовки к пуску и полета изделия.

Форма «Оперативного отчета», выпускаемого отделом анализа по результатам пуска РН, приводится в последнем документе списка.

Анализ приведенных выше инструкций позволяет сделать вывод о том, что в СПО должно быть реализовано множество математических операций, а также инструментарий по статистической обработке и анализу данных. Кроме того, для анализа нештатных и аварийных пусков необходим достаточно мощный инструмент графического анализа ТМП.

Сформулированные требования к функциональности АПК можно систематизировать по этапам обработки и анализа ТМИ. В ходе обработки ТМИ при полете изделия (этап оперативной обработки ТМИ) осуществляются следующие операции:

- сопряжение по формату ТМИ с УАПК ТМИ и АПК ПП ТМИ;
- работа по формулярам отображения;
- вывод на экран в РМВ нескольких ТМП;
- автоматизированный допусковый контроль.

На этапе экспресс обработки выполняются следующие операции:

- декоммутиация ТМП из формата us0;
- контроль качества ТМП;
- повышение достоверности ТМИ;
- временная сегментация ТМИ.

Затем осуществляется подготовка материалов в «Оперативный отчет...» (этап послеполетного анализа ТМИ) с выполнением следующего комплекса операций:

- арифметические операции;
- численное дифференцирование и интегрирование;
- представление зависимости ТМП от других ТМП;
- экстраполяция и интерполяция значений ТМП;
- расчет преобразований Фурье;
- ввод границ допусков значений ЛТХ;
- автоматизированный допусковый контроль ЛТХ;
- статистическая обработка и анализ ЛТХ;
- редактирование параметров в графическом режиме;
- моделирование зависимостей параметра от времени по заранее созданным моделям функционирования агрегатов и систем РКТ;
- сохранение результатов обработки параметров в различных форматах представления значений параметров и графическом виде.

Кроме указанного перечня решаемых задач АПК обработки и анализа ТМИ можно сформировать общие требования, включающие в себя: кроссплатформенность; универсальность форматов ТМИ; многооконность режимов работы; высокую производительность операций.

Совместная работа с представителями отделов анализа ГИК и Главного испытательного космического центра (ГИКЦ) позволила сформировать перечень штатного СПО, используемого на указанных этапах обработки и анализа ТМИ. При анализе ТМИ наиболее широко применяются программные комплексы MTV (Ekran), PrgUs0, WinLTX, эксплуатируемые в подразделениях ГИКЦ и ГИК МОРФ.

Первой была рассмотрена программа WinLTX. Скриншоты основных окон управления и вывода информации представлены на рис. 2. Данная программа поставляется НИЦ ЭТУ (г. Санкт-Петербург) в основном в отдел анализа ГИК, работает только в операционной системе Windows. Обладает наиболее широкими возможностями по анализу ТМИ.

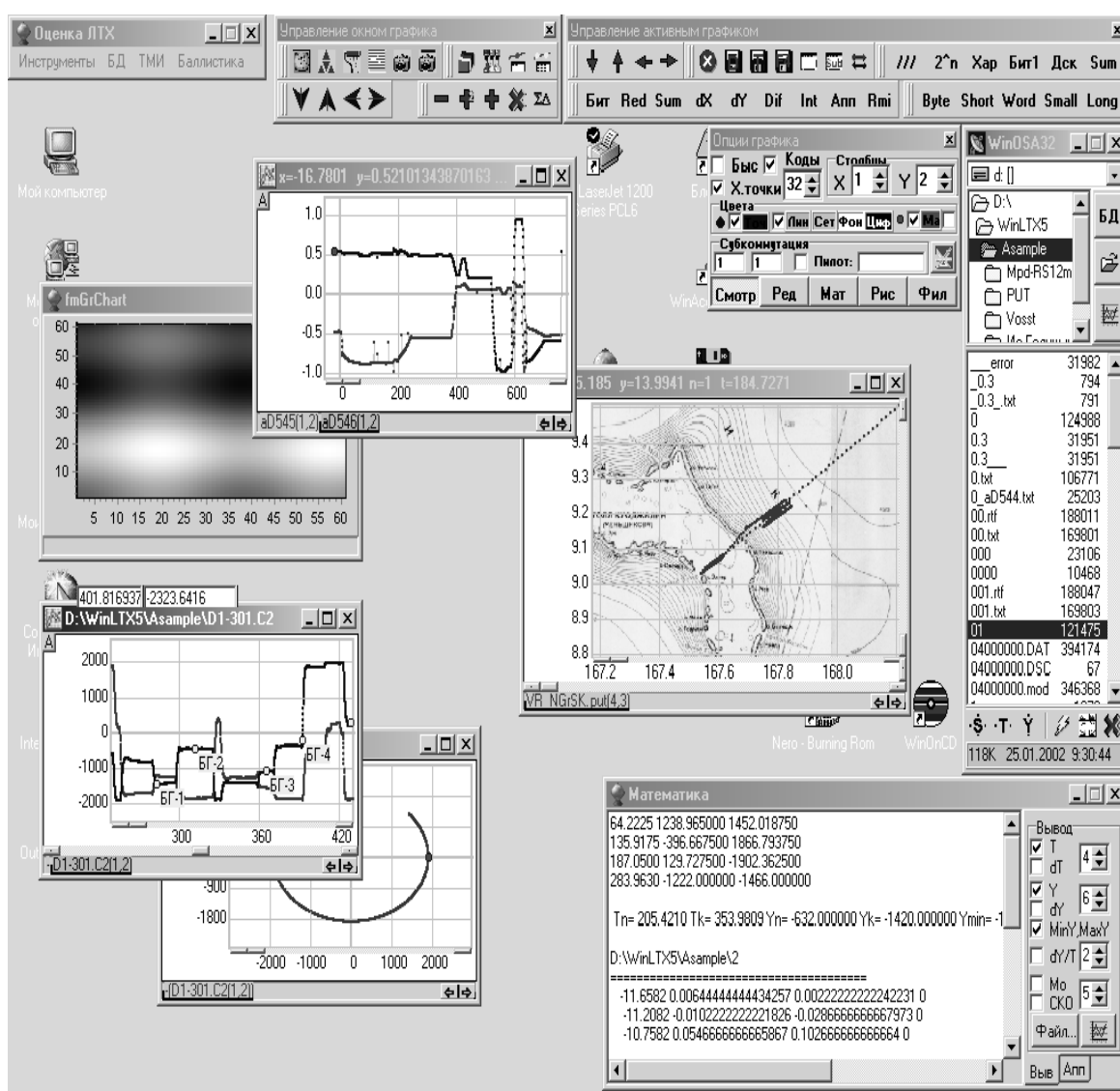


Рис. 2. Комплекс программ анализа ТМИ и оценки ЛТХ РКТ – WinLTX

Вторая программа – программа PrgUs0, весьма ограниченная по функциональности, позволяет в минимальной степени декоммутировать параметры и проводить их просмотр (рис. 3). Разработчик НПО космического приборостроения (г. Москва). Работает только в операционной системе Windows.

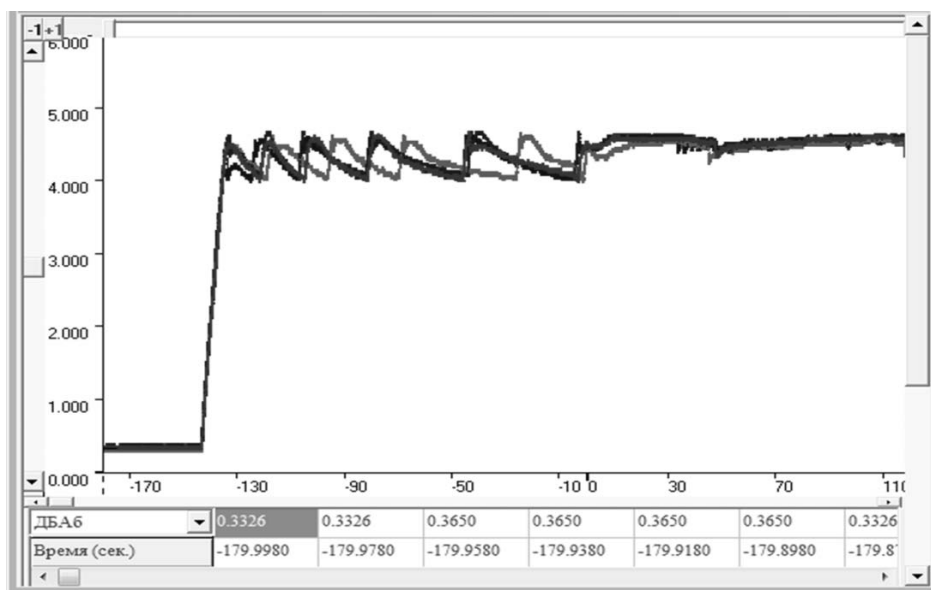


Рис. 3. Программа просмотра ТМИ РКТ – PrgUs0

Третья программа – Экран или MTV (рис. 4) – имеет наиболее широкое распространение в ГИКЦ. Занимает по функциональности промежуточное положение. Однако значимыми недостатками программы являются отсутствие функции многооконности и недостаточная мощность реализованных математических операций. Разработчик – также НПО космического приборостроения. Работает в операционной системе Windows.

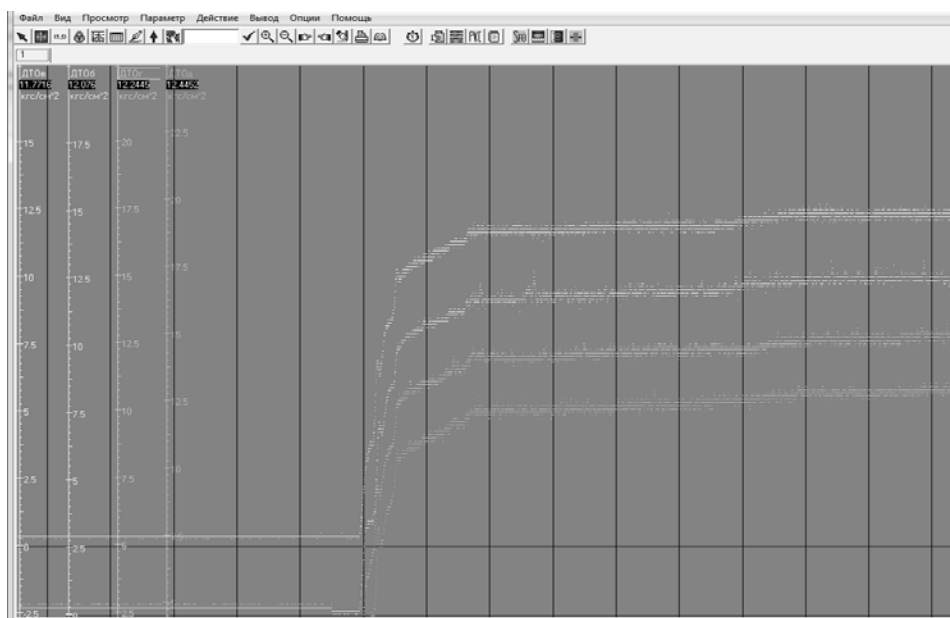


Рис. 4. Программа вторичной обработки и отображения ТМИ – MTV, Ekran

Следует отметить, что СПО обработки и анализа ТМИ для других объектов наблюдения довольно много. Фактически применяются схожие алгоритмы и методы, но в соответствии с решаемыми задачами, объемом наблюдаемых параметров, скоростью передачи данных и уровнем подготовки конечного пользователя, СПО может иметь различный интерфейс и программно-математическое обеспечение.

В результате проведенного анализа получена таблица соответствия используемых на практике программ обработки и анализа ТМИ предъявляемым требованиям (табл. 5). Ни одна из существующих программ не удовлетворяет требованиям к функциональности СПО обработки ТМИ в полной мере.

Таблица 5

Таблица соответствия используемых на практике программ обработки и анализа ТМИ предъявляемым требованиям к СПО

№ п/п	Наименование СПО	Обработка ТМИ при полете изделия в РМВ	Экспресс-обработка и анализ ТМИ	Подготовка материалов в Оперативный отчет (последолетный анализ ТМИ)	Общие требования			
					Кроссплатформенность	универсальность форматов ТМИ	Многооконность режимов работы	Высокая производительность операций
1.	WinLTX	-	+	+	-	+	+	+
2.	PrgUs0	-	+	-	-	-	-	-
3.	MTV	+	+	+	-	-	-	-
4.	Перспективный АПК обработки и анализа ТМИ РКТ	+	+	+	+	+	+	+

Для разрешения данного противоречия в настоящее время ведется разработка перспективного АПК обработки и анализа ТМИ, который будет внедрен в учебно-тренировочный комплекс информационно-аналитического обеспечения испытаний и применений РН и РБ, разворачиваемый на кафедре «Технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками)».

Список используемых источников

1. Автоматизированная обработка телеметрической информации: учебник / В.А. Чикуров, В.В. Шмелев, В.Г. Зиновьев и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 470 с.
2. Изделие 14А14: Инструкция по обработке информации. Ч. 3. Исходные данные для автоматизированной обработки информации. Кн. 4. Исходные данные для автоматизированной обработки ТМИ при полете изделия.
3. Изделие 14А14: Инструкция по обработке информации. Ч. 4. Исходные данные для послеполетной обработки информации. Кн. 1. Исходные данные для послеполетной обработки ТМИ РТСЦ.
4. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Ч. 1. Общий документ инструкции.
5. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Ч. 2. Подготовка РН на заводе-изготовителе, ТК, СК и Хр.
6. Изделие 14А14: Инструкция по оценке работы бортовых систем. Ч. 3. Оценка работы бортовых систем в полете.

А.М. Андреев,
кандидат техн. наук;
К.Б. Махров;
И.А. Пучкова

РЕАЛИЗАЦИЯ ТУРБОКОДИРОВАНИЯ В КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНОГО СТАНДАРТА CCSDS

В качестве объекта исследования изучены особенности турбокодов, рекомендуемых стандартом CCSDS 131.0-B-2. Турбокоды обеспечивают высокий энергетический выигрыш от кодирования и активно используются как в различных системах связи, так и в системах передачи телеметрической информации. Рассмотрены этапы кодирования, подробно разобрана работа устройства перемежения.

Ключевые слова: телеметрия, турбокод, помехоустойчивое кодирование, международный стандарт CCSDS, энергетический выигрыш от кодирования.

Российская Федерация входит в состав стран-участниц международной организации CCSDS (англ. Consultative Committee for Space Data Systems – Консультативный комитет по космическим системам передачи данных), которая в числе прочих задач занимается разработкой стандартов в области характеристик радиолиний и способов передачи данных. В августе 2011 года был принят стандарт CCSDS 131.0-B-2 (далее – стандарт) [1], посвященный вопросам синхронизации и канального кодирования при передаче телеметрической информации (ТМИ). В настоящее время особую актуальность приобрело турбокодирование (Turbo coding), активно применяемое в системах спутниковой и мобильной связи, беспроводного широкополосного доступа и цифрового телевидения. Ряд турбокодов (Turbo codes) запатентован зарубежными компаниями, что ограничивает возможность их свободного применения, однако CCSDS в рамках стандарта предлагает семейство турбокодов, свободных от патентных ограничений.

В статье рассмотрены основные положения, касающиеся реализации турбокодов, рекомендуемых стандартом CCSDS 131.0-B-2 [1], рассмотрены этапы кодирования, подробно проиллюстрирована работа устройства перемежения.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТУРБОКОДОВ

Турбокоды были разработаны в 1993 году и представляют собой класс высокоэффективных помехоустойчивых кодов, допускающих итеративное декодирование.

В соответствии с существующей классификацией, рекомендуемые стандартом *турбокоды* представляют собой параллельные каскадные блочные систематические коды с кодовыми словами большой длины [2–4]. Для построения рекомендуемых стандартом турбокодов в качестве компонентных используются рекурсивные систематические сверточные коды (РССК). При декодировании турбокодов, подобно сверточным кодам, могут быть использованы «мягкие» решения. В стандарте особо отмечено, что рекомендуемые турбокоды являются непрозрачными. Также указано на возможность получения значительного энергетического выигрыша от кодирования (ЭВК) при применении турбокодирования. Отмечено, что при построении турбокодов целесообразно использование скремблера (рандомизатора) в тех случаях, когда возникает сложность с восстановлением тактовой синхронизации на приемной стороне (например, при наличии в исходной последовательности длинных серий одинаковых символов).

Стандартом рекомендуются к применению турбокоды с номинальными скоростями кодирования $r = 1/2, 1/3, 1/4, 1/6$. Для их построения используется схема кодирования с параллельным соединением двух кодеров РССК с числом состояний, равным 16.

Рекомендуемые длины входных информационных блоков k выбраны с учетом совместимости с применяемыми схемами кодирования Рида – Соломона с различными глубинами перемежения [2] и приведены в табл. 1. Термин «задержка», использованный в графе «примечания» в табл. 1, означает время, требуемое для перемещения пакета данных от источника к приемнику.

Таблица 1

Рекомендуемые длины информационного блока

Длина информационного блока k , бит	Соответствующая глубина перемежения кода Рида – Соломона (255, 223)	Примечания
1784 (= 223x1 октет)	1	При очень низких скоростях передачи данных или для обеспечения невысокой задержки
3568 (= 223x2 октета)	2	
7136 (= 223x4 октета)	4	
8920 (= 223x5 октетов)	5	Для достижения наибольшего ЭВК

Различные варианты соответствия между длиной выходного кодового блока $n = (k + 4) / r$ и длиной информационного блока k , при скорости кодирования r , приведены в табл. 2.

Таблица 2

Соответствие между длиной выходного кодового слова, длиной информационного блока и скоростью кодирования

Длина информационного блока k , бит	Длина выходного кодового слова n , бит			
	Скорость кодирования 1/2	Скорость кодирования 1/3	Скорость кодирования 1/4	Скорость кодирования 1/6
1784	3576	5364	7152	10728
3568	7144	10716	14288	21432
7136	14280	21420	28560	42840
8920	17848	26772	35696	53544

Как можно заметить из табл. 2, длина кодового слова турбокода обратно пропорциональна номинальной скорости кодирования r .

Отличительной особенностью построения турбокодов является использование перемежителя, наличие которого и определяет высокие характеристики турбокодов [4].

В отличие от посимвольного блочного перемежения, используемого при каскадном кодировании с внешним кодом Рида – Соломона [4], перемежение в турбокоде изменяет порядок следования отдельных битов входного информационного блока, что выглядит как псевдослучайная перестановка битов.

Длина входного информационного блока k , которая определяется как $k = k_1 \cdot k_2$, выбирается в зависимости от необходимой глубины перемежения. Возможные значения длины информационного блока k и параметров k_1, k_2 приведены в табл. 3. Можно отметить, что

поскольку рекомендуемые стандартом длины входных блоков k выбраны с учетом совместимости с применяемыми схемами кодирования Рида – Соломона, то параметр $k_1 = 8$ для всех случаев.

Таблица 3

Длины информационного блока, параметры k_1 и k_2

Длина информационного блока $k = k_1 \cdot k_2$, бит	k_1	k_2
1784	8	223
3568	8	223 x 2
7136	8	223 x 4
8920	8	223 x 5

Рис. 1 иллюстрирует принцип перестановки, реализуемый перемежителем.

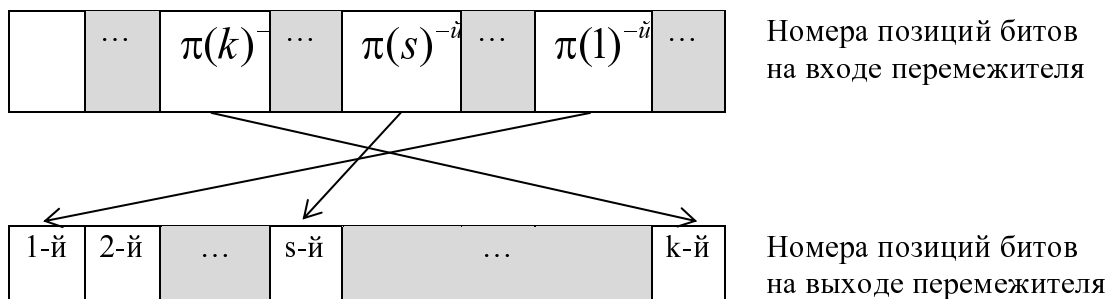


Рис. 1. Принцип перестановки битов входного информационного блока

Если пронумеровать биты входного информационного блока, а также пронумеровать биты кодовой последовательности на выходе перемежителя, последовательно с первого по k -й бит (то есть $1, 2, 3, 4, \dots, k$), то номера позиций переставляемых битов $\pi(s)$ на входе перемежителя однозначно соответствуют номерам позиций битов s на выходе перемежителя согласно следующему преобразованию:

$$\pi(s) = 2(t + c \frac{k_1}{2} + 1) - m,$$

где $\pi(s)$ – номер позиции бита на входе перемежителя, $\pi(s) = 1, 2, \dots, k$;

s – номер позиции бита на выходе перемежителя, $s = 1, 2, \dots, k$;

k_1 – параметр из табл. 3;

m – переменная, определяемая по формуле

$$m = (s - 1) \bmod 2;$$

t – параметр, рассчитываемый по формуле

$$t = (19i + 1) \bmod \frac{k_1}{2},$$

причем

$$i = \left\lfloor \frac{s - 1}{2k_2} \right\rfloor;$$

k_2 – параметр из табл. 3;

$\lfloor \dots \rfloor$ – функция округления в меньшую сторону до ближайшего целого (например, $\lfloor -1234,5 \rfloor = -1235$, $\lfloor 1234,5 \rfloor = 1234$);

c – параметр, вычисляемый по формуле

$$c = (p_q j + 21m) \bmod k_2,$$

причем

$$j = \left\lfloor \frac{s-1}{2} \right\rfloor - ik_2.$$

Кроме того, для определения параметра c предварительно выбирается переменная p_q , являющаяся одним из восьми простых чисел: $p_1 = 31$, $p_2 = 37$, $p_3 = 43$, $p_4 = 47$, $p_5 = 53$, $p_6 = 59$, $p_7 = 61$, $p_8 = 67$.

Индекс $q = 1, 2, \dots, 8$ вычисляется по формуле

$$q = (t \bmod 8) + 1,$$

где \bmod – бинарная операция «остаток по модулю» [5].

Перемежение выполняется последовательно, начиная с 1-го бита в выходном массиве до конечного бита. Проиллюстрируем перестановку для информационного блока длиной 1784 бита.

При $s = 1$, $k = 1784$, $k_1 = 8$, $k_2 = 223$:

$$m = (s - 1) \bmod 2 = (0) \bmod 2 = 0,$$

$$i = \left\lfloor \frac{s-1}{2k_2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{0}{446} \right\rfloor = 0,$$

$$t = (19i + 1) \bmod \frac{k_1}{2} = (1) \bmod 4 = 1,$$

$$j = \left\lfloor \frac{s-1}{2} \right\rfloor - ik_2 = \lfloor 0 \rfloor = 0,$$

$$q = t \bmod 8 + 1 = 1 \bmod 8 + 1 = 2, \text{ следовательно, } p_q = p_2 = 37,$$

$$c = (p_q j + 21m) \bmod k_2 = 0 \bmod 223 = 0,$$

$$\pi(s) = 2(t + c \frac{k_1}{2} + 1) - m = 2(1 + 0 + 1) - 1 = 3.$$

Видно, что первый бит на выходе перемежителя был третьим от начала битом на входе перемежителя.

Аналогично, при $s = 150$, $k = 1784$, $k_1 = 8$, $k_2 = 223$:

$$m = (s - 1) \bmod 2 = (149) \bmod 2 = 1,$$

$$i = \left\lfloor \frac{s-1}{2k_2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{149}{446} \right\rfloor = 0,$$

$$t = (19i + 1) \bmod \frac{k_1}{2} = (1) \bmod 4 = 1,$$

$$j = \left\lfloor \frac{s-1}{2} \right\rfloor - ik_2 = \lfloor 74,5 \rfloor = 74,$$

$$q = t \bmod 8 + 1 = 1 \bmod 8 + 1 = 2, \text{ следовательно, } p_q = p_2 = 37,$$

$$c = (p_q j + 21m) \bmod k_2 = (37 \cdot 74 + 21) \bmod 223 = 2759 \bmod 223 = 83,$$

$$\pi(s) = 2(t + c \frac{k_1}{2} + 1) - m = 2(1 + 83 \cdot 4 + 1) - 1 = 667.$$

При $s = 1784$, $k = 1784$, $k_1 = 8$, $k_2 = 223$:

$$m = (s - 1) \bmod 2 = (1783) \bmod 2 = 1,$$

$$i = \left\lfloor \frac{s-1}{2k_2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1783}{446} \right\rfloor = 3,$$

$$t = (19i + 1) \bmod \frac{k_1}{2} = (19 \cdot 3 + 1) \bmod 4 = (58) \bmod 4 = 2,$$

$$j = \left\lfloor \frac{s-1}{2} \right\rfloor - ik_2 = \lfloor 891,5 \rfloor - 3 \cdot 223 = 891 - 669 = 222,$$

$$q = t \bmod 8 + 1 = 2 \bmod 8 + 1 = 2 + 1 = 3, \text{ следовательно, } p_q = p_3 = 43,$$

$$c = (p_q j + 21m) \bmod k_2 = (43 \cdot 222 + 21 \cdot 1) \bmod 223 = (9567) \bmod 223 = 203,$$

$$\pi(s) = 2(t + c \frac{k_1}{2} + 1) - m = 2(2 + 203 \cdot 4 + 1) - 1 = 2 \cdot 815 - 1 = 1629.$$

ФОРМИРОВАНИЕ КОДОВЫХ СЛОВ ПРИ ТУРБОКОДИРОВАНИИ

Этапы формирования кодовых слов поясняются при помощи рис. 2, где изображена рекомендуемая стандартом схема турбокодера (Turbo encoder). Здесь используется так называемое *параллельное каскадирование* [4].

Каждый входной информационный блок из k битов сначала записывается в память перемежителя. Затем биты считываются из буфера таким образом, чтобы на вход одного из компонентных кодеров («вход а») поступали биты с исходным порядком, а на вход другого («вход б») после перестановки. С выхода турбокодера на модулятор сначала поступает бит входного информационного блока – без какой-либо обработки и задержки, а затем поступают сформированные проверочные биты: сначала с кодера a , затем – с кодера b .

В общем случае элементарные коды могут быть разными и иметь различные скорости, но стандарт рекомендует одинаковые элементарные коды. Важным моментом компоновки турбокодера является рекурсивность компонентных сверточных кодеров, вследствие чего обеспечивается защита от генерации кодовых слов с малым весом.

Обозначенные на схеме многочлены $G_0 - G_3$ называются *порождающими многочленами*. Выбор порождающих многочленов полностью определяет сверточный код [4].

Та или иная скорость кодирования ($r = 1/2, 1/3, 1/4, 1/6$) определяется на схеме комбинацией выходов $0a, 1a, 2a, 3a, 1b, 3b$. Оба компонентных кодера (кодеры a и b) представляют собой рекурсивные сверточные кодеры, реализованные как сдвиговые регистры с обратной связью.

Линии на рис. 2 схематически показывают, что обратные связи регистров реализуются при помощи порождающего многочлена G_0 , а прямые связи – при помощи порождающих многочленов G_1, G_2, G_3 .

Порождающий многочлен обратной связи и для кодера a , и для кодера b – при всех скоростях кодирования – $G_0 = 10011$.

Порождающий многочлен прямой связи и для кодера a , и для кодера b – при скоростях кодирования $1/2$ и $1/3$ – $G_1 = 11011$.

Так как на выход поступает один бит входной последовательности и два проверочных бита с выходов компонентных кодеров, то без перфорирования скорость кодирования получается равной $1/3$. Для достижения скорости кодирования $1/2$ применяется перфорирование для обоих компонентных кодов.

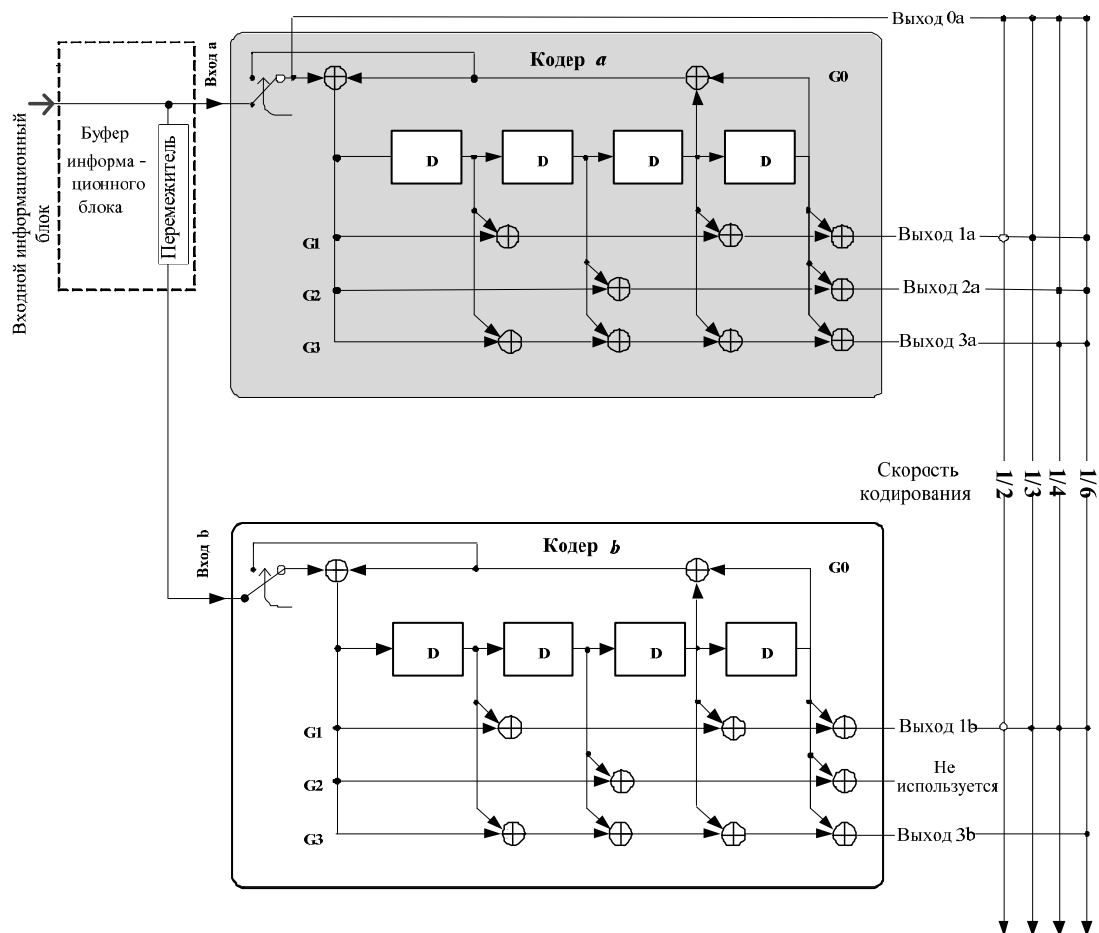


Рис. 2. Рекомендуемая схема турбо-кодера:

\oplus – исключающее ИЛИ; • – поступление всех сгенерированных символов;
 \circ – поступление сгенерированных символов с учетом чередования выходов при перфорации
 \rightarrow \boxed{D} \rightarrow – поступление сгенерированных символов с учетом чередования выходов при перфорации

Для скорости кодирования $1/4$ порождающие многочлены прямой связи: $G2 = 10101$, $G3 = 11111$ – для сверточного кодера a ; $G1 = 11011$ – для сверточного кодера b . Скорость кодирования $1/4$ на выходе достигается без перфорирования.

Для скорости кодирования $1/6$ порождающие многочлены прямой связи: $G1 = 11011$, $G2 = 10101$, $G3 = 11111$ – для сверточного кодера a ; $G1 = 11011$, $G3 = 11111$ – для сверточного кодера b . Скорость кодирования $1/6$ на выходе достигается без перфорирования.

Один цикл работы турбокодера представлен ниже.

1. Оба компонентных кодера, составляющих турбокодер (рис. 2), инициализируются с нулями во всех регистрах (нули устанавливаются перед началом каждого цикла во всех регистрах).

2. Полный цикл кодеров составляет $(k + 4)$ тактов, за это время турбокодер производит на выходе кодовое слово из $((k + 4)/r)$ сгенерированных символов, где r – номинальная скорость кодирования (такт – временной интервал прохождения бита).

3. В течение первых k тактов, входные переключатели находятся в положении «вниз», обеспечивая поступление входных данных, как показано на рис. 2.

4. Во время заключительных четырех из $(k + 4)$ тактов входные переключатели находятся в положении «вверх», отключая поток входных данных. Как следствие, все четыре регистра заполняются нулями. Дополнение регистров нулями называют *завершением решетки*.

5. В процессе завершения решетки кодирующее устройство продолжает генерировать ненулевые символы кода. Поэтому информационная последовательность (на линии «выход 0a», рис. 2) будет включать четыре бита в дополнение к k информационным битам.

Выходные биты мультиплексируются различным образом для достижения требуемой скорости кодирования.

Для скорости кодирования $1/3$ используются выходы 0a, 1a, 1b; для скорости кодирования $1/4$ – выходы 0a, 2a, 3a, 1b; для скорости кодирования $1/6$ – выходы 0a, 1a, 2a, 3a, 1b, 3b. Кодовое слово при скоростях кодирования $1/3$, $1/4$, $1/6$ формируется в течение $(k + 4)$ тактов.

Для скорости кодирования $1/2$ в течение двух тактов передается последовательность битов (0a, 1a, 0a, 1b). Подразумевается, что выход 1a передается первым, 1b во вторую очередь, и т.д. Таким образом, последовательность битов (0a, 1a, 0a, 1b) повторяется $(k + 4)/2$ раз.



Рис. 3. Кодовые слова турбокодов для различных скоростей кодирования

Кодовые слова турбокодов для четырех номинальных скоростей кодирования приведены на рис. 3.

ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОМАРКЕРА И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ

Стандартом предусмотрено, что для синхронизации декодера используется синхромаркер. Синхронизатор на приемной стороне ожидает синхромаркер в течение времени передачи кодового слова с присоединенным синхромаркером. После приема синхромаркера начинается декодирование кодового слова.

Кодовое слово турбокода совместно с синхромаркером схематически показано на рис. 4.

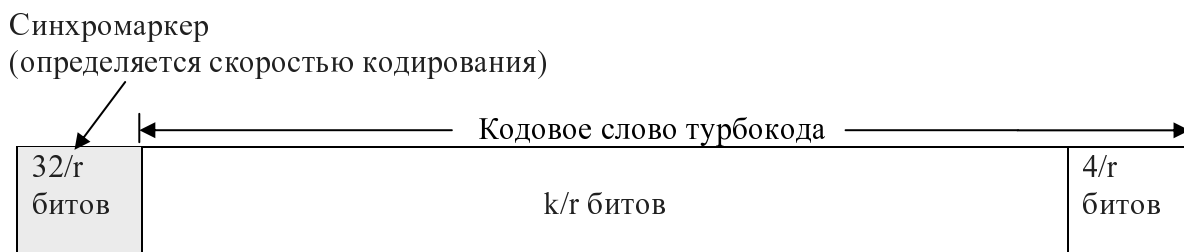


Рис. 4. Кодовое слово турбокода совместно с синхромаркером:

$$r = 1/2, 1/3, 1/4, 1/6 \text{ (номинальная скорость кодирования)}$$

$$k = \text{длина входного информационного блока}$$

В стандарте отмечено, что применение дифференциального кодирования не дает какого-либо положительного результата в отношении турбокодирования.

Перед турбокодером дифференциальное кодирование не применяется, поскольку рекомендованные стандартом турбокоды являются непрозрачными.

Применение дифференциального кодирования после турбокодера вносит дополнительные потери качества работы – из-за невозможности применить декодирование с «мягкими» решениями. Напротив, благодаря использованию «мягких» решений в турбодекодерах эффективным оказывается использование нескольких итераций декодирования.

Синхромаркер рекомендуется использовать для обнаружения и устранения неопределенности фазы перед декодированием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди всех практически используемых современных методов коррекции ошибок турбокоды наиболее близко подходят к границе Шеннона, теоретическому пределу максимальной пропускной способности зашумленного канала [4].

Важным преимуществом турбокодов является независимость сложности декодирования от длины информационного блока, что позволяет снизить вероятность ошибки декодирования путем увеличения длины кодового слова.

Использование турбокодов в системах беспроводного широкополосного доступа обусловлено возможностью при сопоставимой сложности оборудования обеспечить лучшую помехоустойчивость по сравнению с другими методами кодирования.

Турбокоды используются в системах связи военного назначения с целью увеличения дальности приема, а также для обеспечения связи в радиосистемах с низким энергетическим потенциалом.

Кроме того, в настоящее время активно внедряются космические системы передачи данных (КСПД), сочетающие турбокоды с различными недвоичными методами модуляции, что позволяет, помимо высокого ЭВК, добиться значительного повышения пропускной способности космических систем связи. Турбокоды хорошо себя зарекомендовали в различных системах связи. Кроме того, в настоящее время турбокоды широко применяются в системах передачи телеметрической информации [6].

В статье подробно рассмотрены принципы построения кодирующих устройств и особенности формирования кодовых слов семейства помехоустойчивых турбокодов, рекомендуемых стандартом CCSDS для использования в КСПД. Отмечена связь параметров рекомендуемых стандартом турбокодов с параметрами кодов, используемых при каскадном кодировании с внешним кодом Рида – Соломона, что позволяет разработчикам КСПД использовать имеющиеся схемотехнические решения для разных методов кодирования.

Список используемых источников

1. CCSDS 131.0-B-2. Blue book. Washington, DC, USA. Recommendation for Space Data System Standards. TM Synchronization and channel coding. Recommended standard. CCSDS, August 2011. – Washington, DC 20546-0001, USA: CCSDS Secretariat, 2011. – 92 с.
2. *Кларк Дж. мл., Кейн Дж.* Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / пер. с англ. под ред. Б.С. Цыбакова. – М.: Радио и связь, 1987. – 385 с.
3. *Галлагер Р.* Теория информации и надежная связь / пер. с англ. под ред. М.С. Пинскера и Б.С. Цыбакова. – М.: Сов. Радио, 1974. – 205 с.
4. *Морелос-Сарагоса Р.* Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
5. *Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О.* Конкретная математика / пер. с англ. под ред. А.Б. Ходулева. – М.: Мир, 1998. – 704 с.
6. Современная телеметрия в теории и на практике: учебный курс / А.В. Назаров, Г.И. Козырев, И.В. Шитов и др. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 672 с.

А.Н. Кравцов,
кандидат техн., доцент;

В.В. Мышко,
кандидат техн. наук, доцент;

В.В. Ткаченко,
кандидат техн. наук

ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В статье проводится систематизация элементов методологии управления техническим состоянием (ТС) космических средств (КСр), состоящей из подзадач анализа и управления. При разработке методологии наибольшее внимание уделено таким компонентам анализа ТС, как контроль, диагностирование и прогнозирование, формирующим исходные данные для принятия решения о ТС КСр. Приводится понятие генеза, включающее в себя накопление знаний о возникновении и развитии аварийных и нештатных ситуаций при испытаниях и штатной эксплуатации однотипных КСр. Использование результатов анализа позволяет обеспечить выбор контролируемых параметров, наиболее полно характеризующих ТС бортовых систем (БС) КСр на различных этапах функционирования в соответствии с заданными критериями оптимальности принимаемого решения для обеспечения оперативного анализа ТС и принятия эффективного решения на применение КСр и управление его ТС.

Ключевые слова: космическое средство, управление техническим состоянием, восстановление работоспособности, контроль, диагностирование.

Современное состояние объектов ракетно-космической техники (РКТ) характеризуется высоким уровнем сложности устройств и агрегатов, а также функциональными связями между ними. Важность задач, решаемых КСр, требует высокой надежности работы их составных элементов. Контроль качества функционирования КСр неразрывно связан с обработкой большого объема измерительной информации о состоянии БС КСр. В связи с этим возникает необходимость проведения комплекса мероприятий, направленных на повышение надежности объектов РКТ. Основными из них являются обнаружение отказов и анализ причин их появления. Эти мероприятия выполняются как в процессе разработки, так и в период эксплуатации КСр, т. е. в течение всего их жизненного цикла.

По мере возрастания сложности объектов РКТ процессы их контроля, диагностирования и принятия решения о ТС БС усложняются также, возрастают временные (ресурсные) затраты на их проведение. Получение удовлетворительного решения этой задачи предполагает разработку более совершенных методов и подходов к управлению ТС, в рамках которых с позиций системного подхода должны рассматриваться вопросы проектирования автоматизированных средств поддержки принятия решений о ТС КСр.

В общепринятом представлении задача анализа ТС заключается в определении ТС диагностируемой системы и установлении в ней места дефекта с требуемой глубиной в случае ее неисправности или неработоспособности [1]. Однако оказывается весьма трудным, а иногда и невозможным, формализовать эту задачу и выразить ее цель в терминах точно определенной в математическом смысле целевой функции.

Для определения вида ТС КСр предусмотрено выполнение операции контроля, задачей которого является проверка соответствия значений определенной совокупности параметров требованиям нормативно-технической документации. При выявлении каких-либо отклонений в значениях телеметрируемых параметров осуществляется переход к решению задачи диагностирования БС. Результаты контроля и диагностирования ТС КСр при условии выполнения заданных требований по точности (детализации) и достоверности могут быть ис-

пользованы при выполнении мероприятий по выработке, принятию и реализации управленческих решений, направленных на устранение возникших отказов и неисправностей, а также при решении задач прогнозирования и парирования возможных последствий нештатных и аварийных ситуаций.

Таким образом, на этапе анализа ТС КСр решается триединая задача, включающая в себя:

- контроль и диагностирование ТС, предполагающие решение задач оценивания ТС БС КСр и определения его соответствия требуемым нормативам по критерию «норма – не норма», определения перечня возможных причин (локализацию), а в идеале – действительной причины возникновения отказов или неисправностей БС КСр, проявления которых были выявлены на этапе контроля;
- формирование базы знаний о возникновении и развитии нештатных и аварийных ситуаций по результатам предшествующих испытаний и пусков ракет космического назначения;
- прогнозирование развития нештатных и аварийных ситуаций.

При этом последняя из перечисленных задач является комплексной и может включать в себя следующие подзадачи:

- прогнозирование последствий возникновения и возможного развития выявленных отказов и неисправностей БС КСр;
- выработку системы мероприятий, направленных на парирование выявленных отказов и неисправностей БС КСр, а также вызванных их появлением последствий, влияющих на качество функционирования КСр;
- реализацию принятой системы мер и мероприятий по устранению неисправностей и восстановлению работоспособности БС КСр.

Схематично указанные процессы представлены на рис. 1.

К качеству решения задач выработки, принятия и реализации управленческих воздействий, направленных на восстановление работоспособности БС КСр, предъявляется ряд требований по достоверности, оперативности и ресурсоемкости. Опыт эксплуатации сложных технических систем показывает, что при отсутствии специальных средств диагностирования львиную долю времени восстановления составляет то время, которое затрачивается на поиск дефектов и подчас занимает 70–80 % общего времени восстановления.

Следует отметить, что рост сложности бортовой аппаратуры и повышение требований к надежности функционирования КСр являются основными факторами, влияющими на эффективность целевого применения КСр, что в свою очередь обеспечивается результатами технической диагностики.

В технической диагностике можно выделить два основных аспекта [1]: изучение конкретных объектов; построение и изучение соответствующих математических моделей. Первый аспект технической диагностики связан с разработкой методов решения и решением следующих основных задач:

- изучения нормального функционирования системы;
- выделения элементов системы и связей между ними;
- выделения возможных состояний системы;
- анализа технических возможностей контроля признаков, характеризующих состояние системы;
- сбора и обработки статистических материалов, позволяющих определить распределение вероятностей возможных состояний системы и закономерности проявления отказов отдельных ее элементов;
- сбора экспериментальных данных о затратах, связанных с осуществлением проверок;
- формирования базы данных об отказах системы.

Все эти задачи для своего решения предполагают опытного исследования конкретных технических систем и процедур диагностирования.



Рис. 1. Схема выработки решения на управление ТС КСр

Второй аспект технической диагностики связан с построением математических моделей объектов и процессов диагностирования и, следовательно, с анализом следующих основных задач:

- разработки методов построения диагностических тестов при поиске отказавших элементов;
- построения оптимальных программ диагностирования, т.е. последовательностей проверок, позволяющих определить состояние технической системы методом последовательного поиска;
- формирования базы знаний о возникновении и развитии штатных и аварийных ситуаций технической системы.

Эти задачи носят, в основном, математический характер. Их решение, полученное для конкретной технической системы, дает возможность наилучшим образом в смысле заданного критерия определить ее состояние и обеспечить накопление знаний о возникновении и развитии отказов.

При решении задач автоматизации управления ТС и выработки решения на восстановление работоспособности БС КСр необходимо учитывать ряд факторов:

- постоянная модернизация КСр затрудняет накопление статистической информации о функционировании отдельных элементов бортовой аппаратуры, а также о появлении отказов в них;
- усложнение структуры БС и режимов их функционирования приводит к увеличению интенсивности информационных потоков, циркулирующих в системе информационно-

телеметрического обеспечения управления и испытаний КСр, что, в свою очередь, повышает затраты на получение телеметрической информации (ТМИ);

- в ТМИ содержатся сведения о дефектах отдельных функциональных элементов, но отнюдь не о причинах этих дефектов;
- влияние случайных факторов и помех на качество ТМИ ведет к потере части данных для анализа, поэтому решение о ТС КСр зачастую приходится принимать в условиях неопределенности;
- высокий уровень ресурсных затрат на проведение испытаний, обработку ТМИ и принятие решения о ТС КСр в настоящее время является одной из основных причин, сдерживающих дальнейшее повышение эффективности целевого применения объектов РКТ.

Для отражения всего многообразия задач, решаемых в процессе управления ТС КСр, по результатам проведенного системного анализа построено дерево целей и задач [2], представленное на рис. 2. Результаты анализа ТС БС КСр могут быть использованы при решении задач выработки, принятия и реализации управленческих решений, направленных на устранение возникших отказов и неисправностей, а также при выполнении мероприятий, направленных на прогнозирование возможных последствий отказов.



Рис. 2. Дерево целей и задач процесса управления ТС КСр

Низкая оперативность анализа ТС многих современных КСр и большие затраты на отыскание в них отказов и восстановление работоспособности приводят к противоречию между их высокими тактико-техническими характеристиками, достигаемыми за счет высокой сложности и совершенства аппаратного состава, и сравнительно низкими эксплуатационными свойствами, обусловленными недостаточной контролепригодностью систем, а зачастую и полным отсутствием их диагностического обеспечения.

Важнейшим направлением устранения этого противоречия являются разработка и создание автоматизированных систем поддержки принятия решений, которые при приемлемом уровне ресурсных затрат позволят оценивать ТС БС с требуемой достоверностью и полнотой, а также формировать воздействия по управлению ТС в процессе целевого применения КСр.

Задачи оперативного управления ТС в процессе целевого применения КСр характеризуются, в первую очередь, дефицитом времени, отводимого на сам процесс выработки и принятия решений, а также их доведения до исполнителей. Кроме этого,

оперативность предполагает учет возмущающих факторов, действующих в системе и не способствующих выполнению поставленных задач с требуемым качеством. Поэтому задачи такого типа, как правило, формулируют в динамической интерпретации с использованием концепта «операция». Это позволяет наиболее полно учесть как причинно-следственные связи между исследуемыми процессами и явлениями, так и большое число разнообразных ограничений, накладываемых на формируемые управляющие воздействия. Однако использование динамического подхода в задачах управления значительно более остро ставит вопрос выбора рациональных решений из множества возможных. Для сужения множества альтернатив с получением в идеале единственного решения задачу выбора формализуют в оптимизационной постановке, разрабатывая для этих целей систему показателей качества. Кроме того, для решения задач управления ТС могут быть использованы векторные показатели качества, отражающие разноплановые требования к качеству программ диагностирования. Это предопределяет использование аппарата векторной оптимизации, предполагающего сужение множества решений до так называемого множества недоминируемых альтернатив (области Парето).

Обобщенная технологическая структура процесса выбора оптимального решения о ТС КСр представлена на рис. 3.

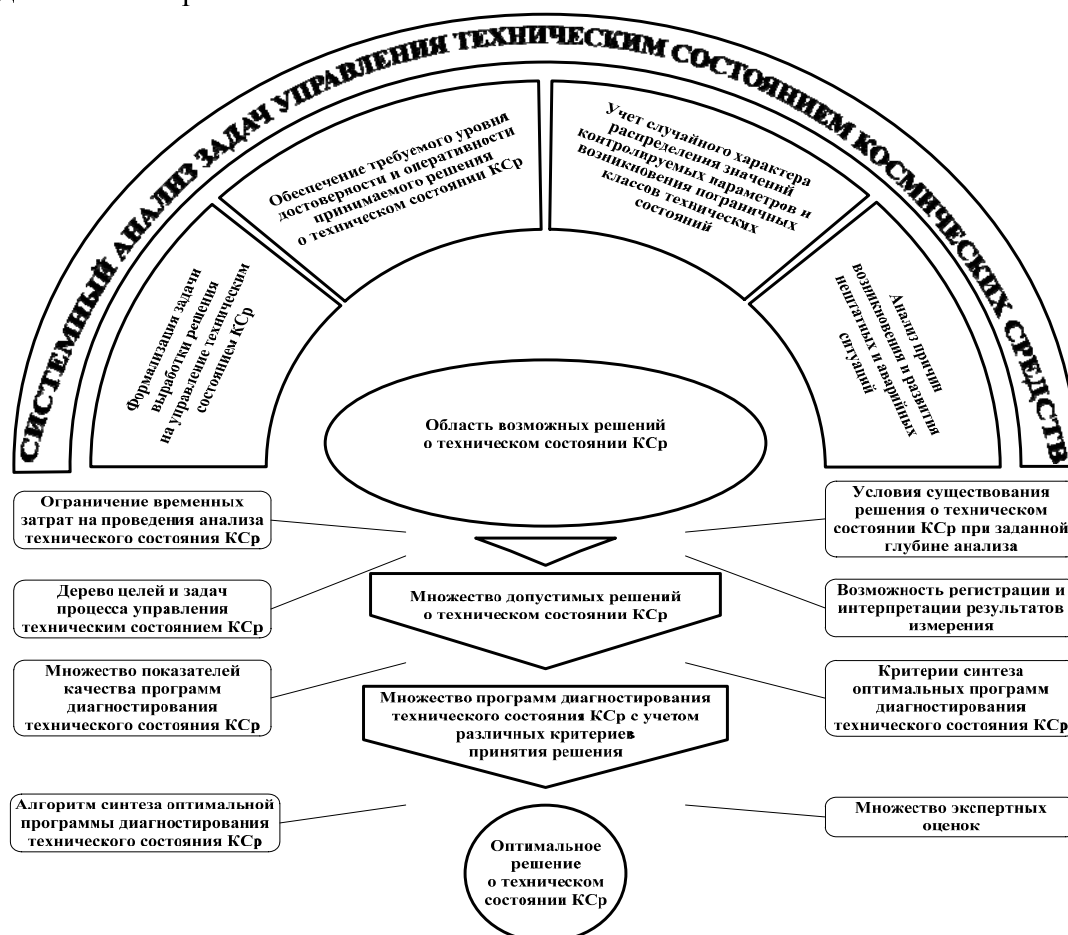


Рис. 3. Технологическая структура процесса выбора оптимального решения о ТС КСр

Проведенные системный анализ и формализация задачи оптимизации процесса восстановления работоспособности БС КСр позволили сформулировать цель разработки методологии управления ТС КСр, заключающуюся в обеспечении требуемого уровня заданных

показателей качества оценивания ТС БС и выбора необходимых управляющих воздействий в процессе целевого функционирования КСр.

Достижение цели обеспечивается за счет решения научной задачи разработки основных элементов методологии управления ТС КСр (рис. 4), в качестве которых выступают:

- процедура системного анализа процесса управления ТС КСр, проведенного в соответствии с принципами многоструктурности, многокритериальности и многоаспектности;
- результаты системного анализа в виде дерева целей и задач, обеспечивающих эффективность целевого функционирования КСр, соответствующего ему дерева показателей качества решения этих задач и достижения поставленных целей;
- динамический оптимизационный подход, обеспечивающий выбор стратегии и технологии анализа ТС КСр, элементами которых являются методология формирования оптимальных программ диагностирования с использованием принципа оптимальности Р. Беллмана, а также методология выбора решения в пользу того или иного из распознаваемых ТС КСр, которая определяется способом выполнения проверок исходя из условий выполнения процедур диагностирования;
- методическое обеспечение решения задач анализа ТС КСр, включающее в себя метод многокритериального синтеза программ диагностирования ТС КСр и метод идентификации неисправностей по пограничным классам состояний с учетом априорных данных о возможных отказах КСр;
- алгоритмическое обеспечение решения задач диагностирования ТС БС, включающее в себя совокупность оригинальных алгоритмов, направленных на реализацию технологии применения системы поддержки принятия решения (СППР) по управлению ТС КСр;
- техническое решение, включающее в себя макет и технологию применения СППР по управлению ТС КСр.

Метод *многокритериального синтеза программ диагностирования ТС КСр* структурно включает в себя [3]:

- формализацию задачи векторной оптимизации процесса анализа ТС БС КСр;
- процедуру комплексного анализа методик скаляризации векторных показателей качества в задачах динамической оптимизации;
- подход к формированию обобщенных показателей качества на основе принципа согласованного оптимума;
- методику синтеза программ диагностирования ТС КСр, которая обеспечивает необходимую универсальность, позволяющую использовать ее не только для решения задач оценивания ТС БС КСр, но и для решения задач оценивания ТС сложных систем различного целевого назначения (их различие состоит в результатах проведенного системного анализа процессов целевого функционирования соответствующих объектов).

Для решения задач оценивания ТС БС КСр применяется комплекс математических моделей, используемых при решении задач анализа ТС, а именно [1]:

- обобщенной математической модели объекта анализа с учетом различных типов обрабатываемых телеметрируемых параметров (ТМП);
- обобщенной математической модели процесса анализа ТС КСр.

Полученные результаты синтеза программ диагностирования могут использоваться для прогнозирования состояния и предупреждения нештатного функционирования БС КСр.

Метод *идентификации неисправностей по пограничным классам состояний с учетом априорных данных о возможных отказах КСр* (рис. 4) структурно включает в себя [4]:

- формализацию задачи представления пограничных классов ТС КСр;
- подход к формированию обобщенных показателей значимости ТМП на основе нечеткого логического вывода с учетом экспертных оценок экстремальных значений частных показателей значимости;
- методику предупреждения нештатного функционирования БС КСр.

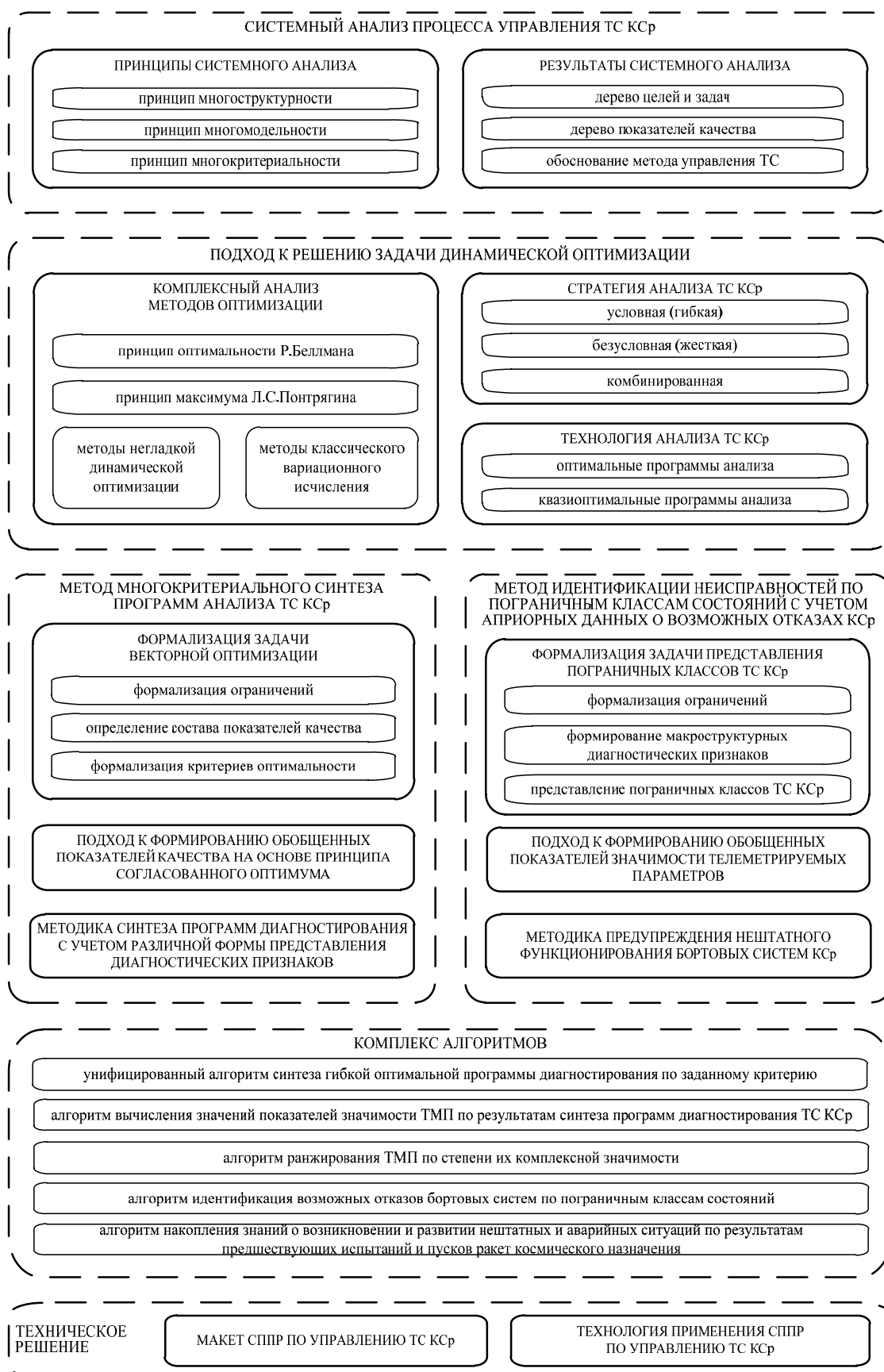


Рис. 4. Основные элементы методологии управления ТС КСр в условиях возникновения и развития нештатных и аварийных ситуаций

В процессе идентификации неисправностей используются модели формирования значимых макроструктурных диагностических признаков и их описания на основе пограничных классов состояний, позволяющие получать решение о ТС КСр с заданной глубиной.

В качестве алгоритмического обеспечения для решения задачи восстановления работоспособности БС КСр используется совокупность следующих алгоритмов:

- унифицированного алгоритма синтеза гибкой оптимальной программы диагностирования ТС БС КСр по заданному критерию;
- алгоритма вычисления значений показателей значимости ТМП по результатам синтеза программ диагностирования ТС БС;
- алгоритма ранжирования ТМП по степени их комплексной значимости;
- алгоритма идентификации возможных отказов БС по пограничным классам состояний;
- алгоритма накопления знаний о возникновении и развитии нештатных и аварийных ситуаций по результатам предшествующих испытаний и пусков ракет космического назначения.

Программная реализация комплекса алгоритмов в составе СППР по управлению ТС КСр позволяет получить законченное решение о распознаваемом ТС и состоит из элементов специального программного обеспечения и рекомендаций по его практическому применению.

Список используемых источников

1. *Дмитриев А.К., Юсупов Р.М.* Идентификация и техническая диагностика. – МО СССР, 1987. – 520 с.
2. *Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А.* Методология системных исследований. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – 159 с.
3. Основные принципы решения задач анализа технического состояния бортовых систем космического аппарата / А.Н. Кравцов, Ю.С. Мануйлов, В.В. Мышко, В.В. Ткаченко // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского; под ред. М.М. Пенькова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – Вып. 631. – С. 144–151.
4. Тенденции развития методов предупреждения нештатного функционирования сложных технических систем с учетом прогноза рисков возникновения отказов / В.В. Ткаченко, А.Н. Кравцов, В.В. Мышко, Д.Н. Бородак // Научно-технический сборник ОАО «Концерн «Системпром»; под ред. Ю.В. Бородакия. – М.: ОАО «Концерн «Системпром», 2013. – № 2 (4). – С. 600–605.

Э.А. Рагимов,

кандидат физико-математических наук;

В.Ю. Андриевская,

кандидат физико-математических наук, доцент;

А.В. Алексеев

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ И КОРРЕКЦИИ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В данной статье рассмотрены варианты коррекций инерциальных навигационных систем и различные виды алгоритмов комплексной обработки информации (комплексирования). Даны рекомендации по применению средств поддержки и коррекции данных спутниковых навигационных систем.

Ключевые слова: навигационная аппаратура, инерционно-навигационная система, коррекция, алгоритм.

При решении навигационных задач важную роль играет непрерывность навигационно-временных определений (НВО). Учитывая характер таких решений задач в условиях сложного рельефа местности, непрерывность высокоточных НВО может быть обеспечена путем совместного использования (интеграции) данных спутниковых радионавигационных систем (СРНС) и инерциальной навигационной системы (ИНС) [1–4].

Эффективно использовать достоинства каждой из систем, являющихся взаимно дополняющими друг друга, позволяют различные виды алгоритмов комплексной обработки информации (комплексирование). Известные в настоящее время основные подходы к построению аппаратуры инерциально-спутниковой навигации можно условно разделить на два типа:

- коррекцию ИНС по сигналам СРНС;
- комплексирование ИНС и СРНС.

Коррекция является наиболее простым способом совместной обработки информации СРНС и ИНС. Суть такого подхода заключается в следующем: в определенные моменты времени численные значения навигационных параметров в ИНС заменяются на значения, полученные от приемника СРНС. На рис. 1 представлен один из вариантов коррекции ИНС по сигналам СРНС.

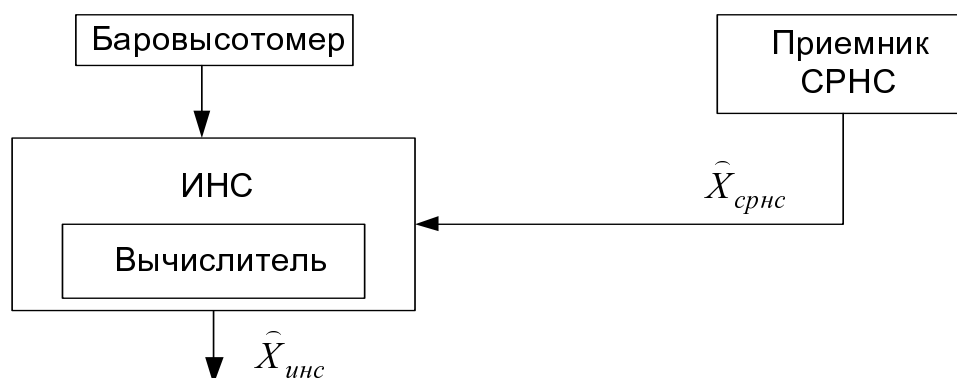


Рис. 1. Один из вариантов простейшей коррекции ИНС через СНС

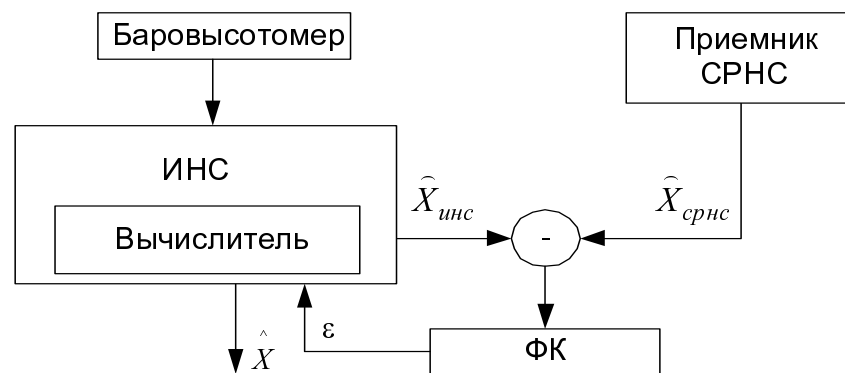
К достоинствам данного решения следует отнести:

- простоту технической реализации;
- отсутствие необходимости доработки существующих систем;
- незначительные аппаратные и программные затраты при реализации.

К недостаткам относятся:

- невозможность коррекции ИНС, если приемник СРНС не способен производить определение навигационных параметров (недостаточное количество видимых спутников);
- счисление координат выполняется в автономном режиме;
- необходимость использования ИНС высокого класса точности для уменьшения накапливаемой ошибки счисления в промежутках времени между коррекциями от СРНС.

В варианте *слабосвязанного комплексирования* на уровне выходных сигналов (рис. 2) в рассмотрение вводится модель ошибок ИНС, что позволяет осуществить оценивание медленно меняющихся случайных параметров ε (уход осей гироскопов, масштабные коэффициенты, смещение акселерометров) и компенсировать соответствующие погрешности.



ИСНС

Рис. 2. Вариант слабосвязанного комплексирования на уровне выходных сигналов

Оценки НП формируются в результате коррекции ИНС с использованием оценок ее ошибок ε , вырабатываемых в фильтре Калмана (ФК).

К достоинствам данного решения следует отнести:

- возможность использования ИНС более низкого класса точности;
- достижение более высокой точности определения НП по сравнению с рассмотренной ранее схемой коррекции.

К недостаткам относятся:

- необходимость дополнительных вычислительных затрат для реализации алгоритма фильтрации;
- необходимость наличия не менее четырех видимых спутников для функционирования данного варианта комплексирования;
- невозможность повышения помехоустойчивости данной схемы (помехоустойчивость определяется характеристиками приемника СРНС).

При варианте слабосвязанного комплексирования на уровне радионавигационных параметров предполагается, что от приемника СРНС для каждого видимого спутника поступают его эфемериды и значение ухода шкалы времени приемника, а также измеренные на этапе первичной обработки значения псевдодальности и псевдоскорости (рис. 3). Счислен-

ные значения координат и скорости объекта, сформированные ИНС, пересчитываются по известным эфемеридам ухода шкалы времени приемника в псевдодальности и псевдоскорости [4], и затем используются в алгоритме комплексной обработки (ФК).

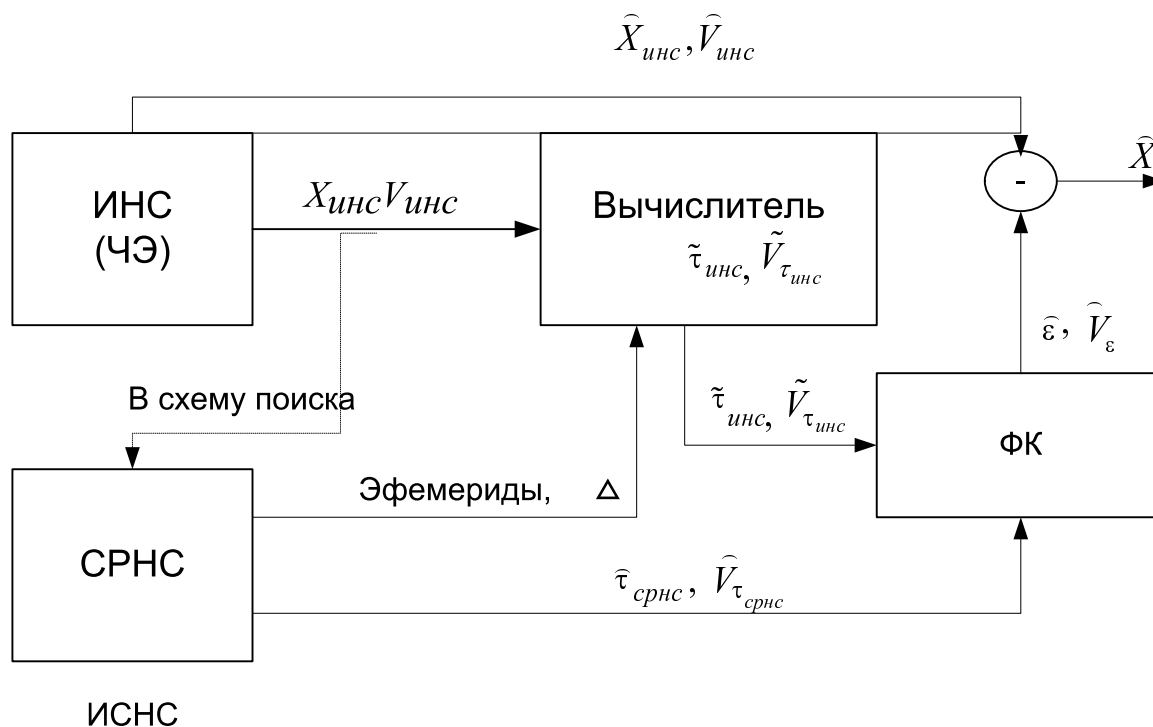


Рис. 3. Вариант слабо связанного комплексирования на уровне радионавигационных параметров

К достоинствам данного решения следует отнести:

- более высокую точность определения НП по сравнению с комплексированием на уровне выходных сигналов;
- использование информации от всех видимых спутников (даже в том случае, если их меньше 4).

К недостаткам отнесем:

- необходимость получения с выхода приемника СРНС первичных навигационных параметров (псевдодальностей, скорости изменения псевдодальности) и дополнительной информации в виде эфемерид и ухода шкалы времени приемника;
- необходимость дополнительных вычислительных затрат, связанных с преобразованием выходных НП ИНС в псевдодальности и скорости изменения псевдодальностей;
- помехоустойчивость – как и предыдущих вариантах комплексирования – определяется помехоустойчивостью приемника СРНС.

Суть варианта *сильно связанного комплексирования* сводится к введению скорости изменения дальности между ЛА и НИСЗ в схемы слежения приемника СРНС. Осуществляемая при этом компенсация динамик изменения псевдодальности и фазы (частоты) сигнала обеспечивает возможность существенного уменьшения шумовой полосы следящих систем.

К достоинствам данного решения следует отнести:

- более высокую точность и помехоустойчивость по сравнению с ранее рассмотренными вариантами комплексирования за счет уменьшения шумовой полосы следящих систем;
- как и в предыдущем варианте комплексирования, использование информации от всех видимых спутников независимо от их количества.

К недостаткам относятся:

- необходимость внесения в схемы слежения дополнительных информационных каналов, что усложняет конструкцию приемника;
- необходимость значительных вычислительных затрат.

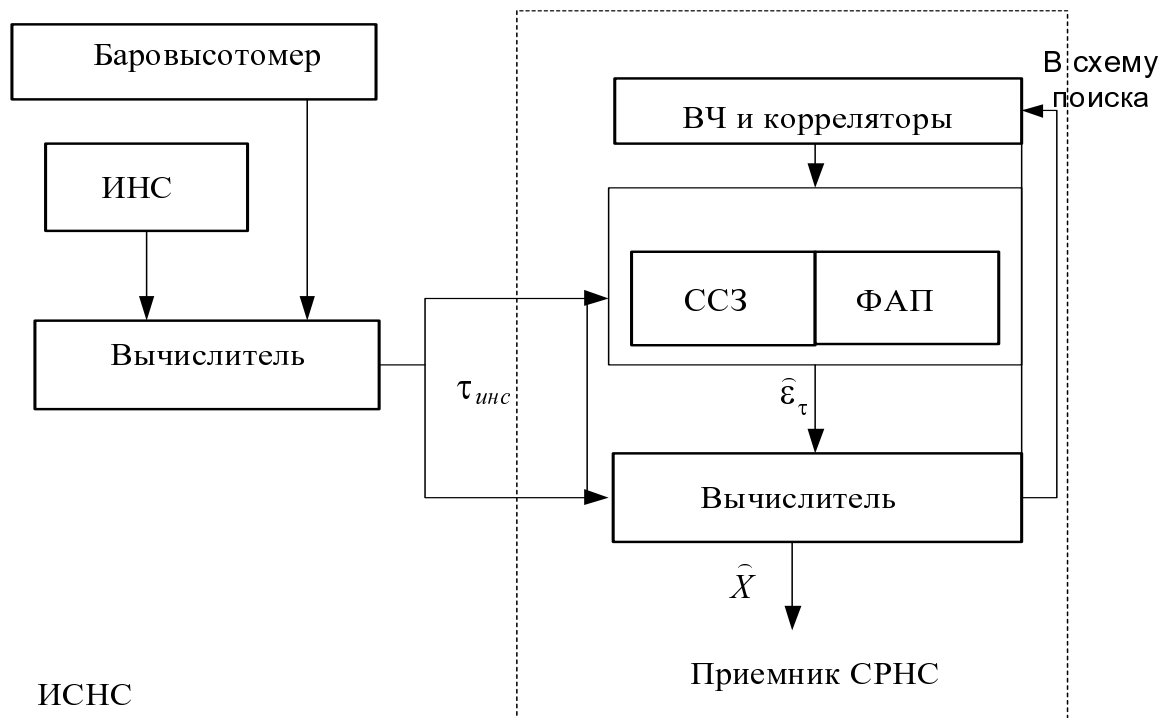


Рис. 4. Вариант сильносвязанного комплексирования на уровне первичной обработки

В варианте «тесно связанного» комплексирования (рис. 5) отсутствуют понятия автономно функционирующих подсистем (ИНС, приемник СРНС), а комплексирование осуществляется на уровне сигналов первичных датчиков (акселерометров, гироскопов, корреляторов приемника СРНС). Реализация алгоритмов глубокой интеграции позволит значительно повысить помехоустойчивость и точность ИНС.



Рис. 5. Вариант «тесно связанного» комплексирования

К достоинствам данного решения следует отнести:

- получение практически потенциально достижимых характеристик по точности;
- обеспечение значительного выигрыша по помехоустойчивости.

К недостаткам относятся:

- радикальное увеличение сложности реализации данного варианта комплексирования;
- самые большие вычислительные затраты по сравнению с другими вариантами комплексирования.

Общей характерной чертой всех вариантов комплексирования ИНС и СРНС на вторичной обработке является использование моделей ошибок ИНС. При этом основной проблемой, в существенной степени определяющей эффективность комплексных алгоритмов и простоту их реализации, остается выбор модели ошибок ИНС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задач навигации в условиях наличия кратковременных пропаданий сигналов СРНС (до единиц минут), обусловленных затенением радиосигналов естественными преградами, наиболее приемлемыми решениями, на наш взгляд, является применение вариантов комплексирования на уровне вторичной обработки. При относительно простой технической реализации данные схемы обеспечивают:

- непрерывность навигационных определений на всех этапах движения объекта, в том числе в гористой местности, когда наблюдается временная неработоспособность приемников СРНС;
- повышение точности определения навигационных параметров;
- улучшение характеристик целостности навигационных решений, т.е. способности при совместной обработке информации с БИНС и СРНС обеспечивать решение задачи автономного контроля целостности (САИМ) в дополнение к контролю целостности, осуществляемому в приемнике СРНС (РАИМ).

Список используемых источников

1. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / А. Болдин, В. Харисов, М. Ярлыков и др.; под ред. В. Харисова. – М.: ИПРЖ, 1998.
2. Understanding GPS principles and applications. – Ed. by E.D. Kaplan, published by Artech House Inc., Norwood, Massachusetts, 1996.
3. AGARG, Lectureseries 207, NATO, 1996.
4. Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2002.

И.В. Фоминов,
кандидат техн. наук;
С.Ю. Королев;
М.Ю. Зоткин

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ИНТЕГРИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ С АДАПТИВНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассматривается теоретический подход к решению актуальной задачи обеспечения требуемой точности определения параметров навигации и ориентации маневрирующего малого космического аппарата в условиях априорно-неопределенных возмущающих факторов. Объектом исследования является интегрированная астроинерциально-спутниковая система, функционирующая в условиях возникновения различных информационных нарушений, обусловленных как внешними, так и внутренними возмущающими факторами, и возникающими нештатными ситуациями. Предлагаемое решение основывается на применении адаптивной комплексной обработки навигационной информации с использованием модифицированного фильтра Калмана. Новизна предлагаемого подхода заключается в параметрической настройке структурных элементов фильтра Калмана в зависимости от возникшей проблемной ситуации, обусловленной возмущающими факторами.

Ключевые слова: интегрированная навигационная система, адаптация, фильтр Калмана, малый космический аппарат.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития маневрирующих малых космических аппаратов (МКА) массой до 100 кг различного назначения направлены на обеспечение эффективности выполнения ими целевых задач при ужесточении требований к массо-габаритным характеристикам.

Одной из важнейших систем бортового комплекса управления МКА является навигационная система (НС) осуществляющая расчет требуемых параметров навигации и ориентации и выдачу их потребителю.

Очевидно, что от точности и достоверности навигационной информации во много зависит эффективность выполнения целевых задач МКА. Ужесточение требований к массо-габаритным характеристикам НС МКА приводит к снижению точности определения параметров навигации и ориентации, повреждению целостности навигационной информации и другим информационным нарушениям [1]. Обусловлено это рядом причин. Во-первых, несовершенство технологии, положенной в основу построения малогабаритных датчиков первичной информации, не позволяет достичь требуемого уровня погрешностей датчиков первичной информации. Во-вторых, в процессе полета МКА на его бортовые системы воздействуют различные возмущающие факторы, влияющие на качество измерения первичных навигационных параметров, и, в-третьих, требования к снижению массо-габаритных характеристик НС частично отвергает принцип резервирования однотипных измерительных средств. Следовательно, обеспечить требуемые показатели точности, целостности, а в некоторых случаях живучести НС возможно за счет разработки новых методов обработки навигационной информации, позволяющих парировать различные возмущающие факторы и нештатные ситуации в процессе полета МКА.

Решение научной задачи обеспечения требуемой точности НС возможно благодаря разработке и применению автономных методов контроля и диагностики элементов НС МКА [1], а также методов синтеза адаптивных НС МКА [2, 3].

В области создания теории построения и применения адаптивных и интеллектуальных навигационных систем и комплексов различных подвижных объектов известны работы [4–11]. Результаты этих исследований предполагают наличие в навигационных комплексах единого информационно-измерительного ядра. Как правило, таким ядром является инерциальная навигационная система, постоянно функционирующая и периодически корректируемая другими измерительными средствами.

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ИНТЕГРИРОВАННЫМИ НАВИГАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

В настоящее время для решения задач навигации и определения ориентации МКА используются следующие типы измерительных приборов и систем:

- *инерциальные датчики* – акселерометры и гироскопы;
- *оптико-электронные датчики* – звездные датчики, датчики Земли, солнечные датчики;
- *навигационная аппаратура потребителя (НАП) спутниковых навигационных систем (СНС)*, например, типа «ГЛОНАСС/GPS»;
- *магнитометры*;
- *периферийные датчики*, измеряющие параметры внешних условий функционирования МКА и его бортовых систем: датчики температуры, датчики накопленной дозы радиационного излучения, датчики давления, датчики вибрации и др.

Инерциальные датчики обладают высокой автономностью и помехозащищенностью, то есть они способны обеспечить получение навигационной информации без непрерывного контакта с внешними источниками информации. Однако принцип инерциальной навигации предполагает постоянный рост погрешностей во времени [12]. Последний факт обуславливает применение корректирующих НС. Оптико-электронные датчики, в частности звездные датчики, обладают относительно высокой точностью. Но в то же время их функциональные свойства в значительной степени зависят от внешних условий функционирования МКА. Так солнечное излучение, вибрации корпуса МКА, превышение допустимых значений угловой скорости приводят к потере функциональных свойств оптико-электронных навигационных систем. Эти факторы могут не только снизить точность, но и сделать применение оптико-электронных средств в определенных условиях невозможным. Также, высокую точность обеспечивает и НАП СНС. Однако подверженность помехам и относительно низкая скорость выдачи навигационной информации являются в некоторых случаях критическими недостатками. Кроме того, сигналы навигационных спутников могут быть подвергнуты случайному или преднамеренному подавлению, а радиоканалы передачи данных могут быть уязвимы к воздействию помех. Применение магнитометрических НС МКА основывается на измерении проекции вектора магнитной индукции. Точность магнитометрической НС непосредственно зависит от адекватности модели реальному магнитному полю Земли. И хотя, сейчас ведутся работы по совершенствованию таких моделей, точность магнитной навигации остается на уровне ниже требуемого.

Широкое распространение сегодня получили НС, включающие инерциальные измерительные устройства и навигационную аппаратуру потребителя (НАП) ГНСС «ГЛОНАСС». Такие инерциально-спутниковые навигационные системы используются на подвижных объектах различного назначения. Сочетание инерциальных измерителей и спутниковой навигации является идеальным для реализации достоинств составных частей и для компенсации их недостатков [9]. Точность такой системы на длительном промежутке времени обеспечивает НАП, тогда как инерциальная навигационная система (ИНС) обеспечивает:

- повышение точности за счет сглаживания колебаний в выходных данных НАП;

- повышение надежности за счет исключения сбоев в информации НАП и сохранения необходимой точности решения навигационной задачи при кратковременных перерывах в приеме данных от ГНСС «ГЛОНАСС»;
- расширение номенклатуры выходных параметров НС за счет измерения углов ориентации и их производных;
- повышение помехоустойчивости НАП ГНСС «ГЛОНАСС».

Для компенсации растущей ошибки в определении углового положения посредством ИНС в составе бортовых систем МКА также могут использоваться оптико-электронные навигационные системы (ОЭНС), в частности звездный датчик или блок определения координат звезд. Комплексирование информации в таких НС происходит по схеме, получившей название разомкнутой и изображенной на рис. 1.



Рис. 1. Разомкнутая схема комплексирования информации в НС

Проекция вектора абсолютной угловой скорости ω , измеренные блоком датчиков угловых скоростей (БДУС) ИНС, используются в кинематических уравнениях вида

$$\dot{\Lambda}_\omega(t) = -\frac{1}{2} \Lambda_\omega \circ \omega.$$

В результате интегрирования кинематических уравнений на выходе ИНС формируется информация о текущем кватернионе углового положения МКА $\Lambda_\omega(t)$.

Вследствие наличия дрейфа БДУС $\delta\omega$ погрешность определения текущего кватерниона $\Lambda_\omega(t)$ будет определяться дифференциальным уравнением следующего вида [12]

$$\delta\dot{\Lambda}_\omega(t) = \frac{1}{2} (\delta\Lambda_\omega \circ \omega + \Lambda_\omega \circ \delta\omega).$$

Для начальной выставки, а также периодической коррекции расчетного кватерниона $\Lambda_\omega(t)$ используется информация о кватернионе $\Lambda_s(t)$ от звездного датчика (ЗД). При такой разомкнутой схеме комплексирования выходная информация о текущем угловом положении будет определяться решением следующего дифференциального уравнения:

$$\Lambda(t) = \Lambda_s(t_{\text{кор}}) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_k} \Lambda_\omega \circ \omega dt,$$

где $t_{\text{кор}}$ – момент времени коррекции, $t_{\text{кор}} \in \{t_0, t_{\text{кор}1}, \dots, t_{\text{кор}n}\}$.

Для решения задачи определения текущих параметров навигации, а именно, вектора координат местоположения r и вектора скорости V , в орбитальном полете используется информация навигационной аппаратуры потребителя ГНСС «ГЛОНАСС». При решении аналогичной задачи на активном (маневрирующем) участке полета может задействоваться блок акселерометров (БА), измеряющих проекции вектора кажущегося ускорения a_k . Дифференциальные уравнения, описывающие процедуру расчета текущих параметров навигации, будут иметь следующий вид:

$$V(t) = V_c(t_{\text{кор}}) + \int_{t_0}^t a_k dt, \quad r(t) = r_c(t_{\text{кор}}) + \int_{t_0}^t V dt,$$

где $r_c(t_{\text{кор}})$ и $V_c(t_{\text{кор}})$ – навигационные параметры, измеряемые НАП ГНСС «ГЛОНАСС».

Вычисление текущих навигационных параметров МКА осуществляется, как правило, относительно абсолютной геоцентрической экваториальной системы координат, считающейся инерциальной. Для получения кватерниона N рассогласования системы координат, связанной с МКА, относительно инерциальной текущие навигационные параметры $r_c(t_{\text{кор}})$ и $V_c(t_{\text{кор}})$ преобразовываются в Кеплеровы элементы орбиты. Для нахождения кватерниона M рассогласования орбитальной системы координат относительно инерциальной достаточно трех параметров: наклонения орбиты i , аргумента широты $u(t)$ и прямого восхождения восходящего узла Ω .

Такая схема построения ИС сегодня широко используется на современных КА. Ее неоспоримыми достоинствами являются высокая надежность в невозмущенных условиях функционирования и простота реализации. Однако низкая помехозащищенность в условиях влияния возмущающих факторов, обусловленных длительным пропаданием сигналов ГНСС «ГЛОНАСС», а также попаданием в зону видимости звездного датчика Солнца или планет, приводит к существенному увеличению погрешностей определения параметров навигации $r(t), V(t)$ и ориентации $A(t)$. Возникновение отказов чувствительных элементов ИИС приводит к функциональной неработоспособности интегрированной системы.

Следующей по сложности интеграции навигационных систем является слабосвязанная схема комплексирования, которая характеризуется применением оптимального фильтра Калмана.

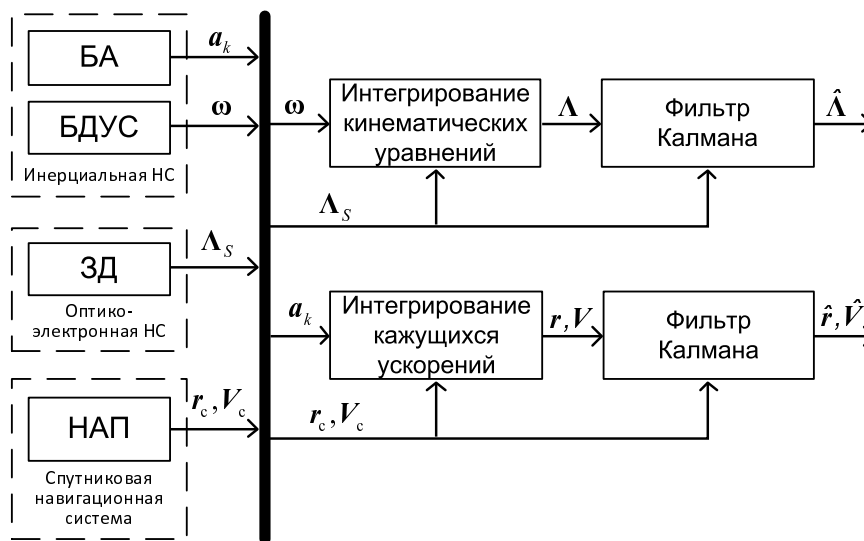


Рис. 2. Слабосвязанная схема комплексирования информации в ИС

Этот математический аппарат, созданный Рудольфом Калманом в 1960 году, сегодня получил чрезвычайно широкое применение [13] в комплексных НС различных подвижных объектов. Преимуществом фильтра Калмана является то, что он представляет собой легко реализуемый на ЭВМ рекуррентный алгоритм, вырабатывающий оптимальную оценку параметров динамической системы. Слабосвязанная схема комплексирования информации в НС представлена на рис. 2.

Сигналы ИНС и СНС объединяются по схеме компенсации. Этот способ основан на формировании разностных измерений сигналов ИНС и СНС, согласно чему, из рассмотрения исключаются сами навигационные параметры. Так при решении навигационной задачи используются

$$\begin{aligned}\zeta_1 &= V_{\text{ИНС}} - V_c = \Delta V_{\text{ИНС}} - \Delta V_c; \\ \zeta_2 &= r_{\text{ИНС}} - r_c = \Delta r_{\text{ИНС}} - \Delta r_c;\end{aligned}$$

где ξ_1, ξ_2 – составляющие обобщенного вектора невязки ξ ;

$V_{\text{ИНС}}, r_{\text{ИНС}}$ – векторы скорости и координат местоположения, выработанные с помощью ИНС интегрированием вектора ускорения a_k ;

V_c, r_c – векторы скорости и координат местоположения, выработанные с помощью ГНСС «ГЛОНАСС»;

$\Delta V_{\text{ИНС}}, \Delta V_c, \Delta r_{\text{ИНС}}, \Delta r_c$ – векторы погрешностей в определении скорости и координат соответственно ИНС и НАП.

Связующей частью комплексной системы является фильтр Калмана, решающий задачу оценивания по поступающим разностным измерениям. В результате синтеза фильтра Калмана закладываются модели погрешностей ИНС и НАП, степень подробности которой определяется требованиями к точности вырабатываемых навигационных параметров.

В модель погрешностей ИНС включаются дрейфы гироскопов, смещения нулей акселерометров, а также погрешности в определении координат местоположения, скорости и параметров ориентации. В результате фильтр Калмана формирует оценки погрешностей ИНС в определении скорости $\Delta \hat{V}_{\text{ИНС}}$ и $\Delta \hat{r}_{\text{ИНС}}$ координаты, которые вычитаются из сигналов ИНС. Точность работы комплексной НС во многом определяется точностью полученных оценок $\Delta \hat{V}_{\text{ИНС}}$ и $\Delta \hat{r}_{\text{ИНС}}$.

Данная схема обладает высокой надежностью и обеспечивает высокую точность измерения навигационных параметров. Однако эти достоинства проявляют себя только в условиях стационарности возмущающих воздействий. Орбитальный полет КА характеризуется же априорно неопределенным характером возмущающих воздействий и необходимостью парировать влияние всевозможных нештатных ситуаций. Более того, ужесточающие требования к увеличению сроков активного существования (10 лет и более) МКА приводят к необходимости пересмотра концепции построения навигационных систем, которые должны функционировать в условиях длительного действия возмущающих факторов.

В теории комплексной обработки навигационной информации известны также сильносвязанные и глубоко-интегрированные схемы комплексирования, однако их рассмотрение требует отдельного внимания.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ИНТЕГРИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ С АДАПТИВНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В целях преодоления недостатков рассмотренных методов комплексирования и обеспечения заданной точности навигации и ориентации в условиях возмущающих факторов предлагается теоретический подход к созданию адаптивной комплексной обработки информации в

НС МКА. Этот подход предполагает построение НС по схеме, приведенной на рис. 3, и предположительно обеспечит высокую точность определения навигационных параметров и помехозащищенность в условиях нестационарности возмущающих воздействий и возникновения нештатных ситуаций.

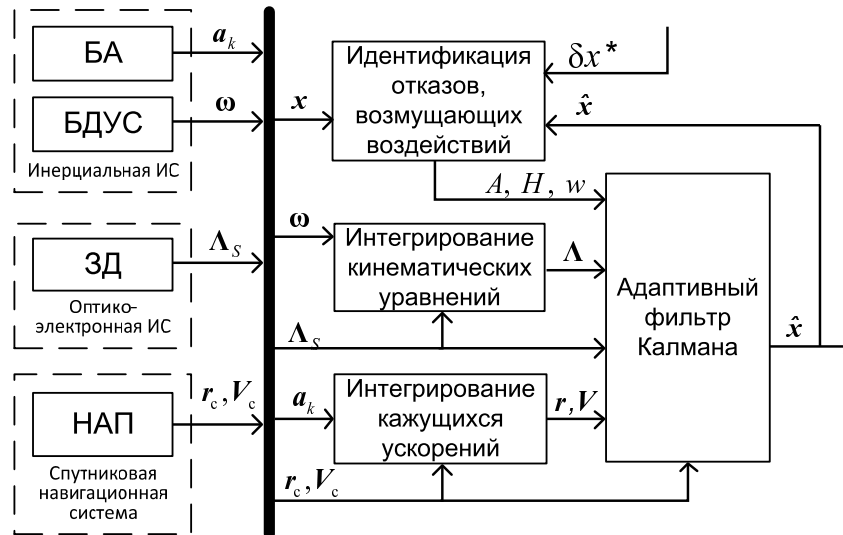


Рис. 3. Слабосвязанная схема комплексования с адаптивным фильтром Калмана

Алгоритм работы адаптивного фильтра Калмана можно представить в виде следующих операций.

1. Вычисляется невязка между параметрами навигации и ориентации, измеренных ИНС, и параметрами ОЭНС и НАП СНС:

$$\zeta_1 = V_{\text{инс}} - V_c = \Delta V_{\text{инс}} - \Delta V_c;$$

$$\zeta_2 = S_{\text{инс}} - r_c = \Delta r_{\text{инс}} - \Delta r_c;$$

$$\zeta_3 = \tilde{A}_a \circ A_{\text{инс}}.$$

2. В блоке идентификации вычисляются текущие переходная матрица $A(S, t)$ и матрица наблюдения $H(S, t)$, зависящие от вида возникшей нештатной ситуации S , и вектор возмущений $w(\Phi, t)$, зависящий от вектора возмущающих факторов Φ .
3. Для системы вида

$$\dot{x}(\Phi, S, t) = A(S, t)x(\Phi, S, t) + G(\Phi, t)w(\Phi, t) + B(S, t)u(S, t),$$

$$z(\Phi, S, t) = H(S, t)x(\Phi, S, t) + v(\Phi, t),$$

где $x(\Phi, S, t)$ – n -мерный вектор состояния системы;

$w(\Phi, t)$ – p -мерный вектор возмущения;

$u(S, t)$ – r -мерный вектор управления;

$A(S, t)$ – матрица $n \times n$, называемая *матрицей состояния*;

$G(\Phi, t)$ – матрица размера $n \times p$, называемая *матрицей возмущения*;

$B(S, t)$ – матрица размера $n \times r$, называемая *матрицей управления*;

$z(\Phi, S, t)$ – m -мерный вектор измерения;

$\mathbf{v}(\Phi, t)$ – m -мерный вектор погрешности измерения;

$\mathbf{H}(\mathbf{S}, t)$ – непрерывная матрица размера $m \times n$, называемая *матрицей наблюдения*;

находится оптимальная оценка удовлетворяющая уравнению

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}(\Phi, \mathbf{S}, t) = \mathbf{A}(\mathbf{S}, t)\hat{\mathbf{x}}(\Phi, \mathbf{S}, t) + \mathbf{K}(\Phi, \mathbf{S}, t)[z(\Phi, \mathbf{S}, t) - \mathbf{H}(\mathbf{S}, t)\hat{\mathbf{x}}(\Phi, \mathbf{S}, t)],$$

где $\hat{\mathbf{x}}(t_0) = 0$, а $\mathbf{K}(\Phi, \mathbf{S}, t)$ – матрица передачи фильтра размера $n \times m$.

4. Вычисляется матрица передачи фильтра $\mathbf{K}(\Phi, \mathbf{S}, t)$ с помощью соотношения

$$\mathbf{K}(\Phi, \mathbf{S}, t) = \mathbf{P}(\Phi, \mathbf{S}, t)\mathbf{H}(\mathbf{S}, t)\mathbf{R}^{-1}(\Phi, t),$$

где $\mathbf{P}(\Phi, \mathbf{S}, t)$ – корреляционная матрица ошибки фильтрации размера $n \times n$

$$\tilde{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{x}(t) - \hat{\mathbf{x}}(t).$$

5. Корреляционная матрица $\mathbf{P}(\Phi, \mathbf{S}, t)$, удовлетворяет матричному дифференциальному уравнению

$$\dot{\mathbf{P}}(\Phi, \mathbf{S}, t) = \mathbf{A}(\mathbf{S}, t)\mathbf{P}(\Phi, \mathbf{S}, t) + \mathbf{P}(\Phi, \mathbf{S}, t)\mathbf{A}^T(\mathbf{S}, t) - \mathbf{P}(\Phi, \mathbf{S}, t)\mathbf{H}^T(\mathbf{S}, t)\mathbf{R}^{-1}(\Phi, t)\mathbf{H}(\mathbf{S}, t)\mathbf{P}(\Phi, \mathbf{S}, t) + \mathbf{G}(\Phi, t)\mathbf{Q}(t)\mathbf{G}^T(\Phi, t)$$

с начальным условием $\mathbf{P}(t_0) = \mathbf{M}[\mathbf{x}(t_0)\mathbf{x}^T(t_0)]$, $\mathbf{Q}(t)$ – матрица размерностью $p \times p$, называемая *матрицей интенсивностей шумов чувствительных элементов*.

Оценкой качества комплексирования является корреляционная матрица \mathbf{P} , в частности, ее диагональные элементы, представляющие собой дисперсии погрешностей оцениваемых параметров навигации $D_x = \sigma_x^2$.

Отличие предложенного алгоритма заключается в непрерывном нахождении матриц $\mathbf{A}(\mathbf{S}, t)$, $\mathbf{H}(\mathbf{S}, t)$ и вектора $\mathbf{w}(\Phi, t)$ в зависимости от возмущающих факторов Φ и возникающих нештатных ситуаций \mathbf{S} .

Искомые вектора и матрицы могут быть найдены вследствие решения задачи идентификации технического состояния навигационных систем и их элементов в соответствии с методами, изложенными в работе [1]. Для решения задачи идентификации необходимо иметь априорные данные $\delta\mathbf{x}^*$, включающие основные погрешности чувствительных элементов ИНС, ОЭНС, НАП, а также другие параметры, характеризующие техническое состояние указанных систем. Блок идентификации в данном случае, с одной стороны, является средством диагностики, а с другой – формирователем обновленных матриц $\mathbf{A}(\mathbf{S}, t)$, $\mathbf{H}(\mathbf{S}, t)$ и вектора $\mathbf{w}(\Phi, t)$.

Реализация предлагаемого подхода предположительно позволит снизить скорость роста погрешностей определения местоположения и вектора скорости в случае кратковременного или полного пропадания сигналов ГНСС «ГЛОНАСС», а также погрешности определения углового положения в случае временной неработоспособности ОЭИС.

На рис. 4 показаны графики предполагаемые зависимости суммарной погрешности навигации σ_x от времени функционирования навигационных систем. При этом рассмотрены два варианта решения навигационной задачи: в варианте А – используется классическая слабосвязанная схема комплексирования, в варианте Б – используется адаптивная схема комплексирования. Рисунок демонстрирует вероятное преимущество этого метода в сравнении с классической слабосвязанной схемой комплексирования. При сравнении полагается, что моменты времени t_0 и t_k соответствуют началу и концу навигационного режима. Для удовлетворения требований к точности навигации ($\sigma_x \leq \sigma_{x, \text{тp}}$, где $\sigma_{x, \text{тp}}$ – требуемое значение сум-

марной погрешности навигации) в моменты времени $t_{\text{кор}}$ необходимо проводить коррекцию погрешностей навигационной системы от внешних источников информации.

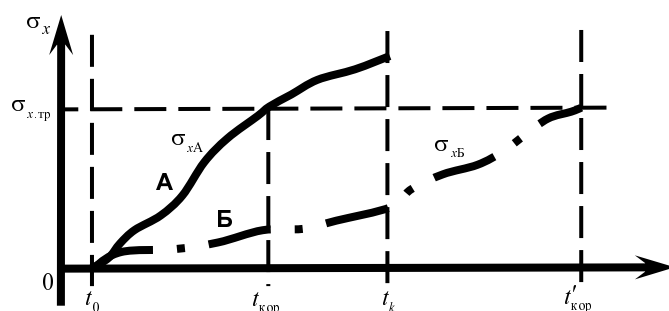


Рис. 4. График роста погрешностей при использовании разомкнутой схемы комплексирования (A) и при использовании слабосвязанной схема комплексирования с элементами адаптации (B)

Подтверждение преимущества предложенного подхода к вопросу синтеза адаптивного фильтра Калмана может быть получено после проведения численных исследований.

Результаты исследований, ранее проведенных другими авторами [4–10], позволяют сделать вывод о том, что применение адаптивной комплексной обработки навигационной информации позволит, во-первых, снизить рост погрешности навигации, обусловленный влиянием возмущающих факторов и последствиями нештатных ситуаций, и, во-вторых, сократить частоту внешних коррекций навигационной системы, проведение которых снижает уровень автономности ее функционирования.

Список используемых источников

1. Дмитриев С.П., Колесов Н.В., Осипов А.В. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 207 с.
2. Голяков А.Д., Фоминов И.В. Анализ влияния надежности и стойкости адаптивных информационно-измерительных навигационных систем на эффективность их использования // Навигация и гидрография. – 2013. – № 36. – С. 9–15.
3. Фоминов И.В. Обобщенная структура адаптивного информационно-измерительного комплекса подвижного объекта // Известия вузов. Приборостроение. – 2013. – № 7, т. 56. – С. 5–9.
4. Ефимов В.В., Пасталака В.В. Повышение автономности интегрированной навигационной системы космического аппарата на основе нейросетевого подхода // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2005. – № 6, т. 48. – С. 51–56.
5. Тихонов В.А. Использование нейросетей в алгоритмах работы и комплексирования систем навигационного комплекса // Сборник трудов международного НТС «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации». – Алушта: Изд-во МАИ, 1998. – С. 284–287.
6. Тихонов В.А., Нагаев С.В. Аппроксимация нейронными сетями алгоритмов навигационной системы // Сборник трудов международного НТС «Современные технологии в задачах

управления, автоматике и обработки информации». – Алушта: Изд-во МАИ, 1999. – С. 256–258.

7. *Тихонов В.А.* Исследование нейросетевых моделей алгоритмов бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – М.: Изд-во МАИ, 2005.

8. *Навигационные приборы и системы / И.И. Помыкаев и др.* – М.: Машиностроение, 1983.

9. *Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / под ред. Б.С. Алешина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского.* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.

10. *Пупков К.А., Неусытин К.А., Кэ Фан.* Интеллектуализация измерительного комплекса летательного аппарата // Известия вузов. Приборостроение. – 2004. – №8, т. 47. – С. 18–23.

11. *Соколов С.В., Погорелов В.А.* Основы синтеза многоструктурных бесплатформенных навигационных систем / под ред. В.А. Погорелова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 184 с.

12. *Бранец В.Н., Шмыглевский И.П.* Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – М.: Наука, 1992. – 280 с.

13. *Степанов О.А.* Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч.1: Введение в теорию оценивания. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 496 с.

В.В. Широбоков,
А.Ф. Шинкаренко

ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖСПУТНИКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ МИКРОСПУТНИКОВ

Рассмотрена проблема повышения автономности орбитальных группировок (ОГ) микроспутников (МС) и связанная с ней необходимость наращивания производительности бортовых вычислительных систем космических аппаратов. Предложены подход к организации и модель межспутникового взаимодействия в распределенной вычислительной структуре ОГ МС. Рассмотрены оптические и радиоканалы связи, а также протоколы передачи данных для организации межспутникового взаимодействия. Определены научно-технические задачи, требующие решения для реализации предлагаемого подхода.

Ключевые слова: орбитальная группировка микроспутников, распределенная вычислительная структура, распределенная обработка информации, бортовая вычислительная система, межспутниковое взаимодействие.

ВВЕДЕНИЕ

Снижение массы микроспутника (МС) позволяет формировать многоспутниковые орбитальные группировки, способные превзойти по эффективности существующие орбитальные группировки из традиционных КА при сравнимой стоимости. Их применение позволило снизить стоимость запуска КА и развертывания орбитальных группировок, а также повысить оперативность съемки поверхности Земли.

Расширение масштабов использования орбитальной группировки микроспутников (ОГ МС) влечет необходимость повышения автономности их функционирования [1]. Перенос решения ряда задач с наземного комплекса управления (НКУ) на бортовой комплекс управления (БКУ) приводит к необходимости увеличения производительности бортовой вычислительной системы (БВС) КА и совершенствования подходов к построению и организации функционирования ОГ и БКУ КА. Наращивание производительности БВС КА вступает в противоречие с ограничениями по массе, энергозатратам, требованиям по надежности, предъявляемым к бортовой аппаратуре. При этом наращиваемые ресурсы БВС не будут использованы в полной мере, а будут востребованы лишь на относительно коротких интервалах функционирования КА.

Решением данного противоречия является подход, в основу которого положена технология предоставления информационно-вычислительных ресурсов на основе модели «клиент-сервер» с конфигурацией «тонкий» клиент.

Данный подход позволяет минимизировать требования к аппаратно-программным ресурсам клиента, перенося часть информационно-вычислительной нагрузки на центры обработки данных (ЦОД).

При организации ОГ МС в роли «КА-клиента» будет выступать МС, а в роли ЦОД – один или несколько выделенных «КА-серверов» (КАС) с БВС высокой производительности. При этом существенно сокращаются требования к аппаратно-программным средствам БВС МС и повышается степень использования ресурсов КАС.

Перемещение большей части функций манипулирования данными на высокопроизводительный и высоконадежный сервер позволяет:

- экономить вычислительные ресурсы всей системы в целом;
- экономить ресурсы средств коммуникаций при передаче данных на НКУ.

МОДЕЛЬ МЕЖСПУТНИКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ МИКРОСПУТНИКОВ

Допустим, что выполнение целевой задачи КА $\psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\}$ осуществляет программа, состоящая из n подзадач. Входными данными программы является информация $V_{\text{вх}} = v_1$, поступающая с входных устройств, а выходными данными $V_{\text{вых}} = v_{n+1}$ является результат выполнения программы, который затем передается на НКУ. Перенос части вычислений с борта КА-«клиента» (КА α) на КА-«сервер» (КА β) определяет разделение выполнения программы на две части. Первая часть подзадач $\psi_i, i \in (1, \dots, k)$ выполняется на БВС КА α до момента окончания выполнения i -ой подзадачи, затем результат выполнения k -ой подзадачи передается по каналу связи на БВС КА β и продолжается обработка подзадач $\psi_i, i \in (k+1, \dots, n)$. После обработки данных в БВС КА β результат передается на НКУ. Схема распределенной обработки программы в БВС КА α и БВС КА β представлена на рисунке 1, где $T_{\alpha \text{ пам}}, T_{\beta \text{ пам}}$ – время задержки записи-чтения данных с памяти, установленной на КА α и β , p_i – объем памяти, занимаемый программой для выполнения i -й подзадачи на борту КА, t_i – длительность монопольного решения i -й подзадачи на борту КА при входных данных v_i , $E(\psi_i)$ – потребляемая процессором БВС КА мощность при выполнении i -й подзадачи.

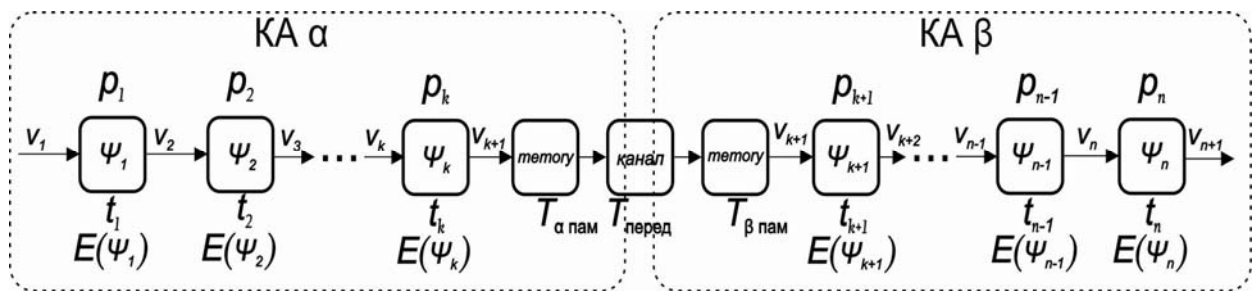


Рис. 1. Схема выполнения задачи

Общее время выполнения задачи в системе, основанной на модели «тонкий клиент», определяется по формуле:

$$T = T_{\alpha} + T_{\beta} + T_{\alpha \text{ пам}} + T_{\beta \text{ пам}} + T_{\text{перед}} \quad (1)$$

Время выполнения одной последовательности подзадач на КА α определяется по формуле:

$$T_{\alpha} = \sum_{i=1}^k t_i(\psi_i), \quad (2)$$

где $t_i(\psi_i)$ – длительность монопольного решения i -й подзадачи ψ_i на борту КА α .

Время выполнения одной последовательности подзадач на КА β определяется по формуле:

$$T_{\beta} = \sum_{i=k+1}^n t_i(\psi_i), \quad (3)$$

где $t_i(\psi_i)$ – длительность монопольного решения i -й подзадачи ψ_i на борту КА β .

Общий объем программы, занимаемый на БВС КА α и β , определяется по формуле:

$$p = \sum_{i=1}^k p_i + \sum_{i=k+1}^n p_i, \quad (4)$$

Суммарное количество энергии, затраченной на выполнение целевой задачи ψ , с учетом энергии, затраченной $E_{перед}(v_{k+1})$ для передачи выходных данных v_{k+1} k -й подзадачи по каналу связи «космос-космос», определяется выражением (5):

$$E = \sum_{i=1}^k E(\psi_i) + E_{перед}(v_{k+1}) + \sum_{i=k+1}^n E(\psi_i). \quad (5)$$

ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКЕ МИКРОСПУТНИКОВ

Для реализации межспутникового взаимодействия в распределенной вычислительной структуре ОГ МС необходимо решение ряда научно-технических задач, в числе которых:

- 1) обоснование структуры и характеристик БВС КАС и БВС МС, а также БСЭ;
- 2) обоснование распределения целевых задач между БВС КАС и МС;
- 3) обоснование характеристик средств межспутниковой связи;
- 4) оптимизация объема данных, передаваемых между МС и КАС;
- 5) планирование межспутникового информационного обмена;
- 6) организация и планирование вычислительного процесса в БВС КАС;
- 7) разработка и оптимизация протоколов межспутникового обмена;
- 8) разработка системного и прикладного ПО, учитывающего особенности организация распределенных вычислений в ОГ КА;
- 9) разработка системы разграничения доступа, обеспечивающая возможность совместного использования вычислительных ресурсов.

Основной задачей КАС является предоставление вычислительных ресурсов по запросу абонента, что требует наличия на КА высокопроизводительных БВС и мощной бортовой системы энергообеспечения. БВС КАС должны быть спроектированы на основе параллельных вычислительных систем, функционирующих в реальном масштабе времени. Для управления вычислительными ресурсами целесообразно использовать UNIX подобную операционную систему серверного типа.

Использование нескольких КАС позволяет обеспечить резервируемость системы и сохранить функциональность при потере одного или нескольких «серверов». При появлении новых «КА-клиентов» КАС в автоматическом режиме производят настройку каналов для предоставления необходимых ресурсов

Кроме того, необходима унификация как внутренних, так и внешних интерфейсов КА для быстрого и эффективного подключения новых «КА-абонентов». Например, микроспутник SpaceDev MMB-100 представляет собой космическую модульную платформу весом 100 кг, в которой реализован интерфейс Plug-n-Play для подключения полезной нагрузки, а также установлены интерфейсы Ethernet, USB и объектно-ориентированные интерфейсы на базе CORBA. С их помощью осуществляться управление подсистемами КА. Управление спутником осуществляется на базе ОС Linux. Еще одной шиной является Multi Mission Microsatellite Bus, представляющей собой унифицированную шину для многоцелевых микроспутников. Данная шина была создана как результат стандартизации аппаратуры для микроспутников и дальнейшее развитие шины Commercial Microsatellite Bus (СМВ). Применение Multi Mission Microsatellite Bus позволяет создавать микроспутники различного назначения с возможностью подключения различных устройств к стандартной шине, тем самым расширяя предоставляемые возможности и гибкость, ценовую эффективность, а также уменьшая время, необходимое для создания нового образца КА.

ОРГАНИЗАЦИЯ МЕЖСПУТНИКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ

Для организации взаимодействия в информационно-вычислительной сети ОГ МС необходимо наличие межспутникового оптического канала или радиоканала. В спутниковых системах используются антенны СВЧ-диапазона частот для передачи информации. Например, передача информационного потока данных в системах спутниковой связи от наземного пункта к спутнику ретранслятору осуществляется в радиодиапазоне частот 30 ГГц, а в обратном направлении – в диапазоне частот 20 ГГц. Для передачи данных между спутниками используются частоты S-диапазона (2–4 ГГц) и Ka-диапазона (26–40 ГГц). Использование радиодиапазона частот для межспутниковой связи имеет следующие недостатки:

- ограниченная пропускная способность (скорость передачи данных составляет порядка не более сотен Мбит/с), что связано с ограничением радиодиапазона электромагнитного спектра частотами не более сотен ГГц,
- невозможность одновременного создания широкополосных каналов дуплексной связи между одним из спутников с несколькими другими КА, находящимися друг от друга на расстояниях менее тысячи или сотен километров, из-за взаимного электромагнитного влияния каналов,
- слабая помехозащищенность каналов межспутниковой связи, обусловленная невозможностью создания диаграммы направленности радиоизлучения с углом расхождения порядка единиц угловых секунд.

Данных недостатков лишены оптические каналы связи. Благодаря достижениям современных технологий все большее значение придается использованию частот выше 3000 ГГц для электросвязи в свободном космическом пространстве. Данные системы могут поддерживать более высокие скорости передачи данных при меньшей массе оборудования, чем традиционные радиочастотные системы связи, а также отвечают всем требованиям к усилению и направленности лучей, используемых в направлении «спутник-спутник» [2]. В последнее время особый интерес для линий электросвязи в свободном космическом пространстве представляют частоты 200, 283, 311 и 353 ТГц, соответствующие длины волн которых приблизительно равны 1,5; 1,06; 0,965 и 0,850 мкм. Данные частоты являются такими же, как и частоты, которые широко используются для электросвязи в оптическом волокне.

В межспутниковой электросвязи большое внимание уделяется использованию полупроводниковых лазеров высокой мощности, работающих на длине волны 0,850 мкм, а также лучей полупроводниковых лазеров, усиленных волоконно-оптическими усилителями. На линиях межспутниковой оптической связи в качестве передающих и приемных антенн используются телескопы. В связи с узкой шириной луча и большой дальностью линии связи, работающей в направлении «космос-космос» на частотах около 354 ТГц и 366 ТГц, предъявляются жесткие требования к наведению и слежению в данной системе. Применение оптического канала связи между КА позволит уменьшить массу, габариты и энергопотребление оборудования для передачи информации по отношению к варианту с использованием радиоканала.

ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКЕ МИКРОСПУТНИКОВ

Сетевые протоколы для передачи данных между КА предписывают правила работы «КА-серверов» и «КА-клиентов», которые подключены к сети. Протоколы также, как и в наземных линиях связи строятся по многоуровневому принципу. Протокол одного уровня

определяет одно из технических правил связи. В настоящее время для сетевых протоколов используется модель OSI (Open System Interconnection — взаимодействие открытых систем), состоящая из 7-уровневой логической модели работы сети. Модель OSI реализуется группой протоколов и правил связи, организованных в несколько уровней.

При организации передачи данных и оптимизации протокола информационно-вычислительной сети в ОГ МС необходимо учитывать следующие факторы:

- ограниченные интервалы времени для передачи информации между КАС и «КА-клиент» при условии прямой видимости КА;
- изменяющаяся пропускная способность межспутниковых каналов связи, обусловленная взаимным положением и высокой скоростью перемещения КА;
- дестабилизирующие факторы космического пространства и энергетические ограничения для функционирования БВС КА и межспутниковых каналов связи.

Сетевая инфраструктура ОГ МС, построенная на оптических или радио каналах связи в системе ОГ МС, обладает рядом особенностей:

- мобильность КА ведет к дополнительному повышению динамичности топологии сети, так как к возможности обрыва связи из-за помех или включения/выключения узла добавляется фактор его перемещения с высокой скоростью;
- запас источников питания МС ограничен, что следует учитывать при проектировании аппаратных средств и протоколов

Одним из протоколов, оптимизированным для использования в космической связи, является протокол DTN (Delay Disruption-Tolerant Networking), опирающийся на подход к построению архитектур сетей, рассчитанный с учетом задержек и частых обрывов связи [3]. Данный протокол используется NASA для сетей дальней космической связи IPN (Interplanetary Internet) [4]. В DTN учитываются не только основные задержки, порождаемые транзитными узлами или ограничениями пропускной способности канала связи, но и дополнительные задержки, зависящие от скорости распространения сигнала в среде передачи данных и расстояния между КА.

Данные в DTN, представленные в виде сообщений произвольной длины (ADU, англ. Application Data Unit), трансформируются в специальные пакеты (Bundle), предназначенные для пересылки в гетерогенных сетях. Bundle состоит из блоков (не менее двух), каждый из которых может содержать либо только данные приложений, либо только служебные данные, необходимые для доставки «КА-клиенту». Причем, если в традиционных архитектурах служебные данные хранятся в заголовке или рабочей нагрузке пакета, то в DTN они могут храниться в произвольных блоках. Сами пакеты допускают фрагментацию/объединение, а каждый полученный фрагмент считается отдельным пакетом. Как и в IP-сетях, используется подход Store-and-forward («сохрани и передай»), предполагающий сохранение пакетов при отсутствии возможности их передать. Однако, в DTN время хранения значительно дольше вследствие того, что канал может быть недоступен на момент передачи или ненадежен. Кроме того, в сетях, использующих протокол DTN, сложнее своевременно отследить состояние канала из-за значительной задержки передачи сигналов. Поэтому для ожидающих отправки пакетов рекомендуется использовать постоянные хранилища на КА.

Еще одним протоколом для межспутникового обмена может служить MANET (Mobile Ad hoc Network), который в некотором роде является частным случаем протокола DTN. MANET применяется для создания беспроводных децентрализованных самоорганизующихся сетей, состоящих из мобильных устройств [5]. Каждое такое устройство может независимо передвигаться в любых направлениях, и, как следствие, часто разрывать и устанавливать соединения с соседями, поэтому MANET обладают следующими преимуществами над беспроводными сетями, основанных на традиционной архитектуре:

- возможностью передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика;
- устойчивостью к изменениям в инфраструктуре сети;

- возможностью быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки;
- простотой и высокой скоростью развертывания;

Для маршрутизации на сетевом уровне в MANET используются ориентированные на динамические сети специальные протоколы:

- реактивные: AODV, DSR и др.
- проактивные: OLSR и др.

Предпочтение одному или другому виду протоколов может быть отдано только с учетом обстановки и скоростей движения абонентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный подход к организации межспутникового взаимодействия в распределенной вычислительной структуре орбитальной группировки микроспутников позволит создать высокопроизводительную вычислительную систему с возможностью по запросу микроспутника предоставлять вычислительные ресурсы КАС, как сервис. Единая масштабируемая распределенная вычислительная структура предоставит возможность реконфигурировать гетерогенные вычислительные ресурсы для решения задач разного класса, а система разграничения доступа обеспечит возможность совместного использования вычислительных ресурсов. Применение передовых спутниковых коммуникационных технологий обеспечит высокоскоростной обмен информации по межспутниковым каналам связи в вычислительной сети. Современные технологии программирования и построения распределенных вычислительных сервисов позволят организовать управляемую, масштабируемую высокопроизводительную систему, способную решать широкий класс задач, которые могут быть интегрированы в единую технологическую цепочку, решающую комплексную задачу.

Список используемых источников

1. *Фатеев В.Ф.* Инфраструктура малых космических аппаратов. – М.: Радиотехника, 2011. – 432 с.
2. Технология работы космической оптической линии связи для повышения оперативности управления и получения информации потребителем в процессе функционирования космических средств. – URL: <http://www.energia.ru/ktt/archive/2014/01-2014/01-05> (дата обращения: 14.01.2015).
3. Delay-Tolerant Networking Architecture – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4838> (дата обращения: 12.01.2015).
4. Interplanetary internet gets permanent home in space. – URL: http://www.newscientist.com/article/dn17416-interplanetary-internet-gets-permanent-home-in-space.html#.VMXZG4_7vtQ (дата обращения: 07.01.2015).
5. Mobile Ad hoc Networking (MANET). – URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2501> (дата обращения: 11.01.2015).

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

К.Н. Богаченков,
П.А. Маслаков

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ПОМЕХ КОМПЕНСАЦИОННОГО ТИПА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

В статье описывается энергоэффективный способ защиты от утечки информации по каналам побочных электромагнитных излучений на средствах вычислительной техники, основанный на принципе создания активных помех компенсационного типа. Также в статье описаны некоторые методы применения помех компенсационного типа и предложены практические рекомендации по повышению эффективности защиты информации, обрабатываемой средствами вычислительной техники.

Ключевые слова: помехи компенсационного типа, защита информации, утечка информации по техническим каналам.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для ведения негласного съема информации (НСИ) находят применение РЭС самого широкого назначения, отличающиеся как принципами построения, так и большим разнообразием способов обнаружения и анализа перехватываемых сигналов. Перехват средствами НСИ информации, обрабатываемой техническими средствами объектов вычислительной техники, возможен путем приема и анализа побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) от рабочих станций, файл-серверов, информационных кабелей локальных вычислительных сетей, других технических средств, обрабатывающих информацию ограниченного пользования.

Усложнение средств НСИ требует от стороны, формирующей помехи, оптимизации их структуры с целью максимального снижения эффективности НСИ. Именно это стремление привело к чрезмерному возрастанию количества типов используемых помех, а следовательно, и принципов построения реализующих их средств формирования [1]. Данное положение существенно усложняет практическую реализацию средств создания помех, делая их узкоспециализированными, и приводит к резкому возрастанию их типов или усложнению их конструкции со всеми вытекающими трудностями эксплуатационного характера.

Вместе с тем подавляющее большинство реализуемых на практике схем селекции ПЭМИ ориентировано на имеющееся различие в тонкой структуре излучения и соответственно помехи. Чем более оно выражено, тем более эффективно работают подобные схемы селекции. Следовательно, приближение тонкой структуры искомой помехи к аналогичной структуре ПЭМИ будет способствовать повышению эффективности такой помехи. Принимая во внимание указанную тенденцию, рассмотрим задачу синтеза оптимальной коррелированной помехи как некоторой функции от самого подавляемого сигнала. Такой способ формирования помех, в свою очередь, позволит существенно упростить и даже унифицировать конструкцию средств создания помех широкому классу средств съема информации (ССИ) за счет их сведения к классу устройств ретрансляционного типа со специальной обработкой, преобразующей действующий сигнал в оптимальную по структуре помеху [2]. Кроме того, данные устройства, в отличие от традиционных средств пространственного зашумления, будут более выгодны с точки зрения электромагнитной совместимости и влияния на здоровье человека (за счет значительно меньшей мощности излучения).

Формально данная задача может быть сформулирована как задача поиска структуры помехи $\mathcal{E}(t)$ в виде некоторого оператора $F[s(t)]$ от полезного сигнала, действующей в шумах

$\xi(t)$ на оптимальный к воздействию «белого» шума приемник и минимизирующей отношение сигнал/(помеха+шум) на выходе этого приемника.

Общий вид линейной операции, выполняемой преобразователем в схеме такого приемника, представляется следующим функционалом:

$$y(T) = \Phi(t) = \int_0^T x(t)\phi(t)dt. \quad (1)$$

Здесь $x(t)$ – принятый сигнал+помеха+шум, $x(t) = s(t) + F[s(t)] + \xi(t)$;

где $s(t)$ – переданный сигнал;

$F[s(t)]$ – искомая помеха $\varepsilon(t)$, коррелированная с сигналом,

$\xi(t)$ – шум на входе приемника.

В соответствии с определением «оптимального приемника» $\phi(t) = k \cdot s(t)$ – весовая функция (примем, что $k = 1$). Раскрыв выражение (1), можем записать

$$y(T) = \int_0^T s^2(t)dt + \int_0^T s(t) \cdot F[s(t)]dt + \int_0^T s(t)\xi(t)dt = E_s + \Pi_F + E_\xi. \quad (2)$$

Очевидно, что выбор помехи, а следовательно, и выбор оператора $F[\dots]$, должен осуществляться таким образом, чтобы максимально снизить энергию полезного сигнала на входе решающего устройства. Формально это требует выполнения следующего условия:

$$|E_s + \Pi_F| \rightarrow \min_F \quad (3)$$

или иначе

$$\left| \int_0^T s^2(t)dt + \int_0^T s(t) \cdot F[s(t)]dt \right| = \left| \int_0^T s(t) \cdot (s(t) + F[s(t)])dt \right| \rightarrow \min_F.$$

Анализ выражения (3) позволяет задачу синтеза оптимальной помехи записать в виде задачи поиска некоторого, в общем случае, случайного процесса $v(t) = s(t) + F[s(t)]$ не коррелированного с процессом $s(t)$. Тогда из данного равенства следует правило выбора оптимальной помехи:

$$F[s(t)] = v(t) - s(t). \quad (4)$$

Для выбора типа случайного процесса $v(t)$ достаточно выполнения следующего условия:

$$\left| \int_0^T s(t) \cdot v(t)dt \right| \rightarrow 0. \quad (5)$$

Выражение (4) дает нам правило формирования оптимальной коррелированной помехи, удовлетворяющей условию (3).

Рассмотрим некоторые практические значения полученного результата. Прежде необходимо понять, является ли оптимальная помеха (4) физически (и, что для нас более важно, практически) реализуемой. Для ответа на этот вопрос необходимо проверить возможность реализуемости каждой составляющей в выражении (4). Случайный процесс $v(t)$, с учетом очевидно вполне реализуем, например в виде «белого» или «окрашенного белого» шума условия (5), в полосе частот, занимаемой полезным сигналом $s(t)$.

Другие общие требования к такому случайному процессу могут быть аналогичны требованиям, предъявляемым к шумовым некоррелированным помехам. Реализуемость процесса в виде инверсии полезного сигнала требует более подробного рассмотрения. Для формирования инверсного сигнала $\bar{s}(t) = -s(t)$ необходимо выполнения двух условий:

- 1) наличия идеального ретранслятора без потерь мощности, амплитудных и фазовых искажений (рис. 1);
- 2) расположения такого ретранслятора на пути распространения сигнала от передатчика к приемнику.

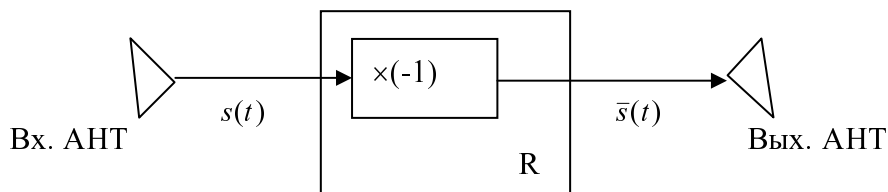


Рис. 1. Структурная схема «идеального инверсного ретранслятора»

Физическая реализуемость условий 1 и 2 сомнений не вызывает, и вместе с тем практическая реализуемость указанных условий может оказаться весьма затруднительной из-за возникновения в реальном ретрансляторе систематических фазовых сдвигов ретранслируемых сигналов и необходимости выполнения условия 2.

Решение задач радиоподавления, как правило, осуществляется в условиях неопределенности знания точного местоположения передающих или приемных РЭС, а также в условиях отсутствия достаточной свободы выбора места дислокации средства подавления. Поэтому на практике условия 1 и 2 могут быть выполнены лишь с некоторой точностью, выраженной в виде Δ – временной задержки прихода искомой коррелированной помехи относительно подавляемого сигнала. Формально это может быть записано следующим образом:

$$F_{A,\Delta}[s(t)] = v(t) - A \cdot s(t - \Delta), \quad (6)$$

где A – некоторый коэффициент усиления помехи ретранслятором.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что решение задачи обеспечения требуемой результативности защиты информации от ее утечки по каналам ПЭМИ от СВТ при ограниченной мощности излучения средств создания активных помех возможно за счет создания помех компенсационного типа. При этом имеются существенные особенности рассматриваемого типа помех. В частности:

1. В силу жестких ограничений на условия пространственного размещения источника помех компенсационного типа преимущество по созданию и технической реализации аппаратуры радиоподавления будут иметь средства длинноволнового диапазона.

2. Средства постановки помех компенсационного типа целесообразно создавать в виде ретрансляторов-инверторов пассивного или активного типа, располагать их в непосредственной близости от источника ПЭМИ или в любой точке на трассе распространения электромагнитного поля от источника к приемнику.

3. Помехи компенсационного типа идеально согласованы по спектру подавляемого сигнала в силу особенностей своего создания и не чувствительны к воздействию частотно-селективных цепей приемников.

4. Диапазонность аппаратуры создания помех компенсационного типа с одной стороны будет определяться геометрическими размерами антенных систем (для нижней границы диапазона), а с другой – АЧХ усилительно-преобразующего элемента ретранслятора-инвертора (для верхней границы диапазона) и может охватывать достаточно широкий спектр преобразуемых частот.

5. Вторичные признаки подавления СВТ помехами компенсационного типа, характерные для шумовых помех (шум в динамиках, засветка секторов экранов локаторов и др.), отсутствуют. Эффект действия предлагаемых помех проявляется в замираниях на длительное время компенсированного сигнала на фоне возрастающих внутренних и внешних шумов.

ОПИСАНИЕ СПОСОБА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УТЕЧКЕ ИНФОРМАЦИИ ПО КАНАЛАМ ПЭМИ ОТ СВТ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ ПОМЕХ КОМПЕНСАЦИОННОГО ТИПА. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ПОМЕХ

Существующие в настоящее время тенденции поиска эффективных универсальных энергоемких помех неизбежно охватывают направления синтеза коррелированных инверсных помех, получивших также название *помех компенсационного типа* [1]. Принимая во внимание указанную тенденцию, а также учитывая ранее полученный результат в виде оптимальной коррелированной помехи как некоторой инверсной функции от самого подавляемого сигнала

$$F_{A,\Delta}[s(t)] = v(t) + A \cdot s(t - \Delta), \quad (7)$$

где $v(t)$ – случайный процесс некоррелированный с полезным сигналом $s(t)$,

A – некоторый коэффициент;

Δ – технологическая временная задержка, связанная с особенностями формирования искомой помехи, осуществим частотный анализ выражения (7) с целью поиска направления дальнейшего совершенствования помех «активного гашения».

Прежде чем приступить к рассмотрению поставленного вопроса, необходимо отметить тот факт, что величина $v(t)$ в выражении (7) носит вспомогательное значение и не имеет принципиального значения для дальнейшего анализа. Именно поэтому выражение (7) для дальнейшего рассмотрения может быть преобразовано к следующему виду:

$$F_{A,\Delta}[s(t)] = A \cdot s(t - \Delta). \quad (8)$$

Принимая во внимание тот факт, что рассматриваемая помеха носит аддитивный характер, окончательный оператор действия компенсационного типа может быть записан в следующем виде:

$$D_{A,\Delta}(t) = s(t) + A \cdot s(t - \Delta). \quad (9)$$

Преобразование Фурье из выражения (9) позволяет получить следующую частотную зависимость:

$$\Phi \{ D_{A,\Delta}(t) \} = S(\omega) \cdot [1 + A e^{j\omega\Delta}]. \quad (10)$$

Так как нельзя осуществлять непосредственные целенаправленные изменения подавляемого сигнала $s(t)$ и его спектра $S(\omega)$, то оператор $G(A, \Delta, \omega) = 1 + A e^{j\omega\Delta}$ в итоге является тем основным элементом, через который оказывается воздействие на подавляемый сигнал.

Рассмотрим более подробно свойства оператора $G(A, \Delta, \omega)$. Для этого определим следующие выражения:

1. Модуль оператора $G(A, \Delta, \omega)$ (АЧХ-преобразователя)

$$|G(A, \Delta, \omega)| = \sqrt{1 + 2 \cdot A \cdot \cos(\Delta \cdot \omega) + A^2}. \quad (11)$$

Зависимость $|G(A, \Delta, \omega)|$ от частоты при $A = -1$ и $\Delta = T/150$, где T – период колебаний с частотой ω .

Очевидно, что в выражении (11) количество переменных может быть сокращено путем введения новой переменной $\alpha = \Delta \cdot \omega = \frac{\Delta}{T}$.

При этом получим $|G(A, \alpha)| = \sqrt{1 + 2 \cdot A \cdot \cos(2\pi\alpha) + A^2}$.

Ввиду аддитивного характера воздействия рассматриваемой помехи на полезный сигнал, а также учитывая выражение (10), результат взаимодействия сигнала и помехи в приемнике

может быть представлен в следующем виде:

$$\Phi\{D_{A,\Delta}(t)\} = S(\alpha / \Delta) \cdot G(A, \alpha). \quad (12)$$

Результат воздействия на произвольный сигнал рассматриваемой коррелированной помехи в соответствии с эквивалентными выражениями (10) и (12) для фиксированного значения Δ показан на рис. 2.

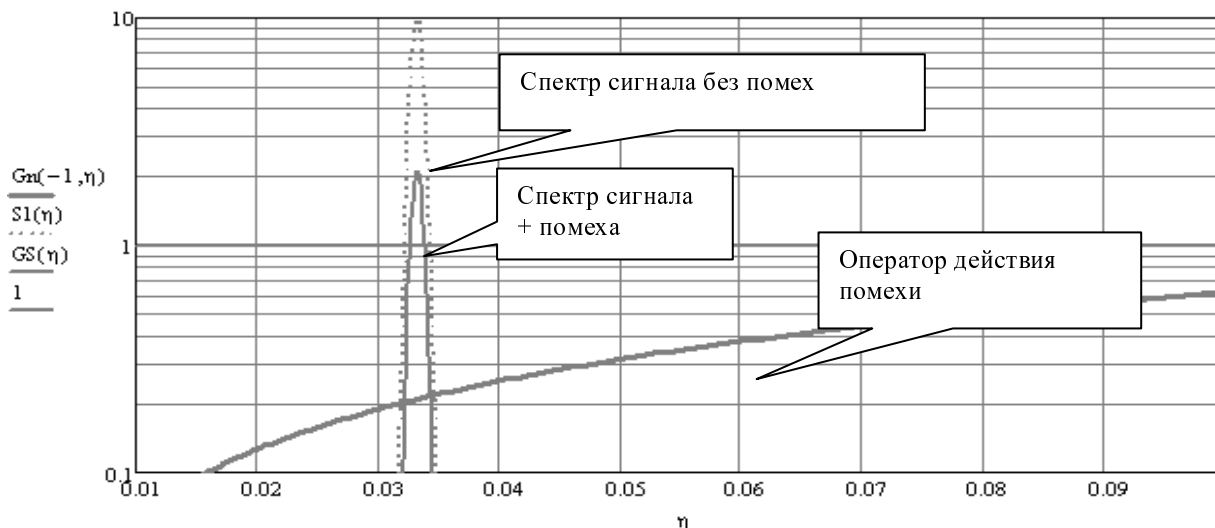


Рис. 2. Результат действия оператора $G(A, \eta)$ на спектр произвольного сигнала $S(\eta / \Delta)$ в соответствии с выражением (12)

Как следует из рис. 2, действие помехи проявляется, прежде всего, в снижении уровня амплитудного спектра, причем, чем меньше временная задержка – Δ , тем степень снижения выше, как это показано на рис. 2 в виде зависимости оператора действия помехи от безразмерной переменной η . Другим проявлением действия рассматриваемой помехи является нелинейное искажение спектра полезного сигнала, причем, чем шире этот спектр, тем выше окажется уровень искажений.

Для определения зависимости качества рассматриваемой помехи (т. е. меры снижения мощности полезного сигнала в результате его взаимодействия с помехой) от значения коэффициента A воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК) применительно к выражению (9). В соответствии с правилами применения МНК, запишем:

$$\min_A \int_0^{T_y} D^2_{A,\Delta}(t) dt = \min_A \int_0^{T_y} [s(t) + A \cdot s(t - \Delta)]^2 dt.$$

Нетрудно показать, что минимум данного выражения достигается при

$$A = -R_s(\Delta), \quad (13)$$

где $R_s(\Delta)$ – огибающая нормированной автокорреляционной функции полезного сигнала $s(t)$. С учетом выражения (13) мера мощности полезного сигнала после взаимодействия с помехой может быть записана в следующем виде:

$$P_{s+n} = P_s \cdot [1 - R_s^2(\Delta)], \quad (14)$$

где P_s – средняя мощность полезного сигнала.

Из выражения (14) следует, что чем меньше значение временной задержки Δ , и при этом, чем более пологой является автокорреляционная функция сигнала, тем выше эффективность подавления рассматриваемой помехой.

Варианты формирования активных помех компенсационного типа (АПКТ) можно реализовать различными способами и техническими устройствами. Рассмотрим несколько вариантов способов создания АПКТ в интересах защиты информации, обрабатываемой СВТ.

Для того чтобы сделать невозможным выделение полезной информации из сигнала ПЭМИ предлагается вместо формирования шумового помехового радиоизлучения, рассчитанного на маскирующее воздействие на приемные устройства потенциальных средств съема ПЭМИ, осуществить генерацию инверсного по сравнению с реальным излучением СВТ электромагнитного поля, которое в процессе приема создавало бы в приемнике помеху сходную по форме с сигналом, но обратную по знаку напряжения (тока). При условии равенства моментов времени прихода прямого и инверсного излучений в приемник и абсолютных значений амплитуд, но разных по знаку следует ожидать их взаимного ослабления или искажения, приводящего, в конечном счете, к невозможности выделения информативной части процессов. Такое инверсное излучение можно формировать различными путями:

- применением прямого физического соединения интенсивно излучающих элементов СВТ с инвертором-услителем и всенаправленной антенной (всенаправленной компенсацией);
- применением инвертора-ретранслятора для компенсации ПЭМИ в заданном направлении (одноуровневой компенсацией);
- применением многократной одноуровневой компенсации информативного сигнала в заданном направлении (многоуровневой компенсацией).

Рассмотрим эти способы более подробно.

МЕТОД ВСЕНАПРАВЛЕННОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Данный вид компенсации целесообразно применять в том случае, когда неизвестно направление ведения съема информации и отсутствует возможность применения конструктивных элементов помещений для экранирования СВТ. Структурная схема реализации данного метода компенсации представлена на рис.3.

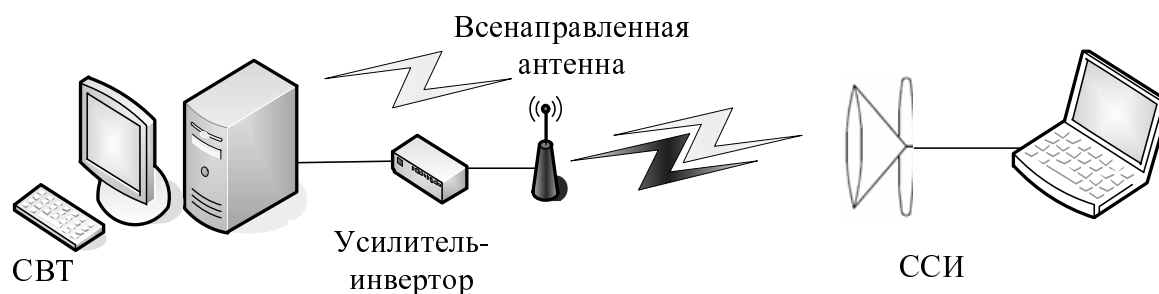


Рис. 3. Структурная схема реализации метода всенаправленной компенсации

К выявленным при помощи индикатора поля наиболее «шумящим» элементам СВТ посредством кабелей присоединяется инвертор-усилитель, сигнал с выхода которого излучается в пространство через всенаправленную антенну. На приемное устройство средства съема информации (ССИ) приходит смесь сигнала, излучаемого СВТ, и проинвертированного сигнала.

В качестве антенны целесообразно использовать симметричный вибратор, поскольку именно этот тип антенны имеет требуемую диаграмму направленности для всенаправленного излучения АПКТ.

В результате применения компенсации видеосигнала на входе приемного устройства перехвата ПЭМИ будет принят сигнал в виде последовательности коротких радиоимпульсов в моменты времени, соответствующие окончанию каждого импульса засветки пикселя, неза-

висимо от уровня управляющего сигнала. Это не позволит различить импульсы засветки пикселей символов полезной информации, а значит, не позволит восстановить закон изменения управляющего сигнала и выявить информацию, выводимую на экран.

Дополнительно присутствующие в видеосигнале видеоимпульсы, более короткие, чем длительность засветки одного пикселя, не будут видны на экране вследствие их фильтрации элементами монитора и ограниченной разрешающей способности человеческого глаза.

МЕТОДЫ НАПРАВЛЕННОЙ ОДНОУРОВНЕВОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Указанный способ используется в том случае, если известно направление на ССИ. Структурная схема реализации данного вида компенсации представлена на рис.4.

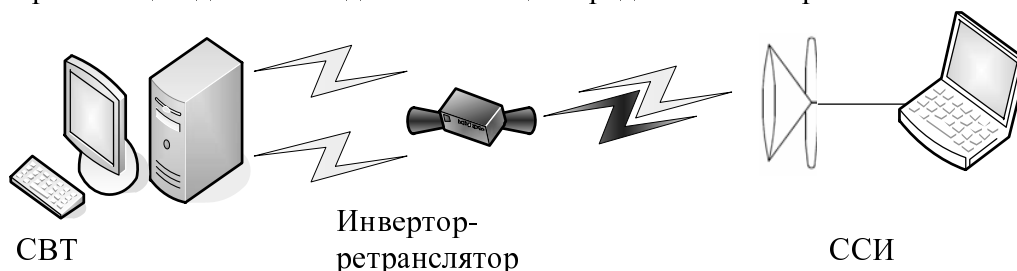


Рис. 4. Структурная схема реализации одноуровневой направленной компенсации

Для реализации метода формирования инверсного излучения на границе контролируемой зоны устанавливается ретранслятор ПЭМИ, выполненный на основе инвертора-усилителя. Задача развязки приемного и передающего трактов инвертора-ретранслятора решается путем выбора антенн с разными видами поляризации и экранирования. Типы антенн выбираются исходя из решаемых задач и возможностей исполнителя.

МЕТОД НАПРАВЛЕННОЙ МНОГОУРОВНЕВОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Дальнейший анализ рассмотренного в данной работе материала позволяет сформулировать вопрос, может ли быть улучшен результат действия инверсной ретранслированной помехи, сформированной в соответствии с выражением (8) за счет какой-либо дополнительной обработки первичного задержанного сигнала. Вариант такой дополнительной обработки может быть представлен, например, в следующем виде:

$$F_{A,\Delta}[s(t)] = A_1 \cdot s(t - \Delta) + A_2 \cdot s(t - 2 \cdot \Delta) + A_3 \cdot s(t - 3 \cdot \Delta) + \dots + A_n \cdot s(t - n \cdot \Delta). \quad (15)$$

Таблица 1

Суммарные коэффициенты помехи и сигнала на входе приемника

n	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
1	-1	0	0	0	0	0	0
2	-2	1	0	0	0	0	0
3	-3	3	-1	0	0	0	0
4	-4	6	-4	1	0	0	0
5	-5	10	-10	5	-1	0	0
6	-6	15	-20	15	-6	1	0
7	-7	21	-35	35	-21	7	-1

Выражение (14) напоминает некоторую разностную схему, поэтому поиск значений вектора $\vec{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n)^T$ должен вестись в направлении минимизации функционала

$$\min_{\vec{A}} \int_0^{T_y} D^2_{\vec{A}, \Delta}(t) dt = \min_{\vec{A}} \int_0^{T_y} [s(t) + F_{\vec{A}, \Delta}[s(t)]]^2 dt. \quad (16)$$

Частным случаем функционала (16) могут быть решения, приведенные в табл. 1.

Частотный оператор действия компенсационной помехи может быть представлен в следующем виде:

$$G(\vec{A}, \Delta, \omega) = 1 + \sum_{k=1}^n A_k e^{j\omega \Delta k}. \quad (17)$$

Графическое представление оператора $G(\vec{A}, \Delta, \omega)$ с учетом приведенных ранее табличных значений вектора \vec{A} до четвертого порядка включительно (при $\omega = 10$ МГц) представлено на рис. 5.

На этом же рисунке показан выигрыш от применения схем формирования инверсной ретранслированной помехи более высокого порядка сложности. Как видно, двукратное ослабление сигнала по амплитуде (четырекратное по мощности) обеспечивается при разных временных задержках, а следовательно, и размерах пространственных зон эффективного действия рассматриваемых помех. При этом переход от оператора первого порядка к оператору второго порядка обеспечивает при равной эффективности ослабление требования по задержке помехи относительно подавляемого сигнала на 50 %, от оператора первого порядка к оператору третьего порядка на – 70 %, от оператора первого порядка к оператору четвертого порядка – на 80 % и т. д.

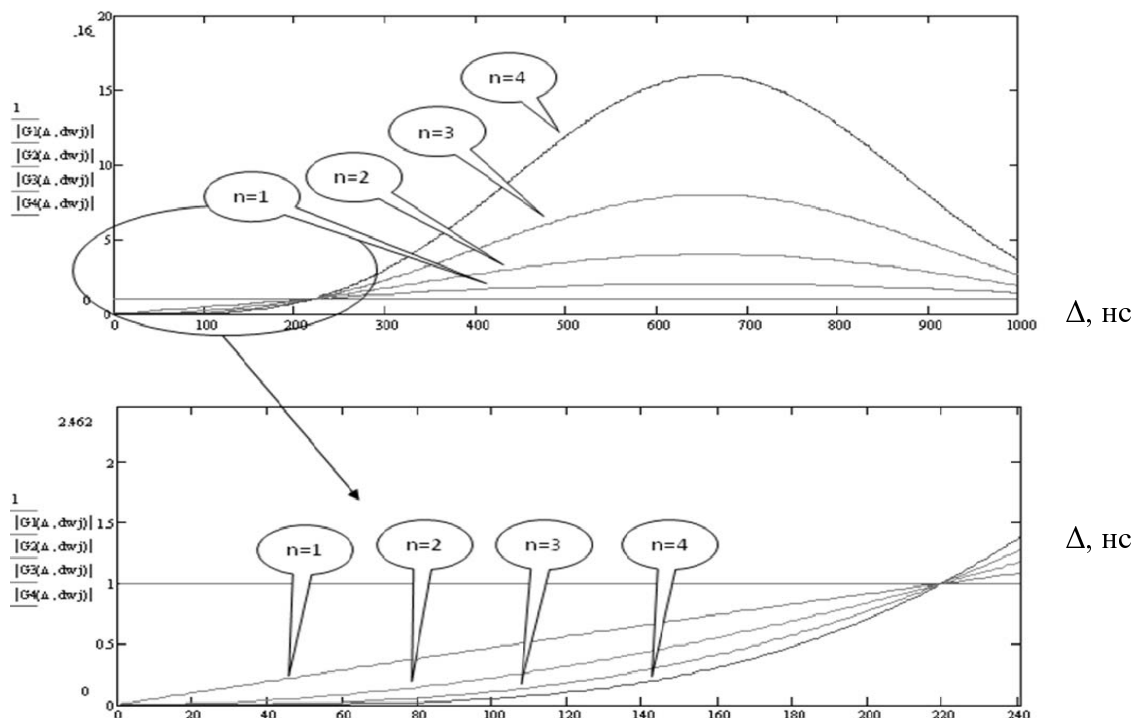


Рис. 5. Графическое представление оператора $G(\vec{A}, \Delta, \omega)$ с учетом приведенных ранее табличных значений вектора \vec{A} до ($n = 1; 2; 3; 4$) четвертого порядка включительно

Исследования показали, что с возрастанием n -порядка оператора преобразования сигнала эффективность такого помехового воздействия также будет возрастать. Данный вид компен-

сацией используется для повышения эффективности подавления информативного сигнала в канале утечки информации. Для реализации многоуровневой компенсации используются несколько ретрансляторов-инверторов, расположенных определенным образом для формирования пространственных зон эффективного действия компенсационных помех.

Структурная схема реализации многоуровневой компенсации представлена на рис. 6.

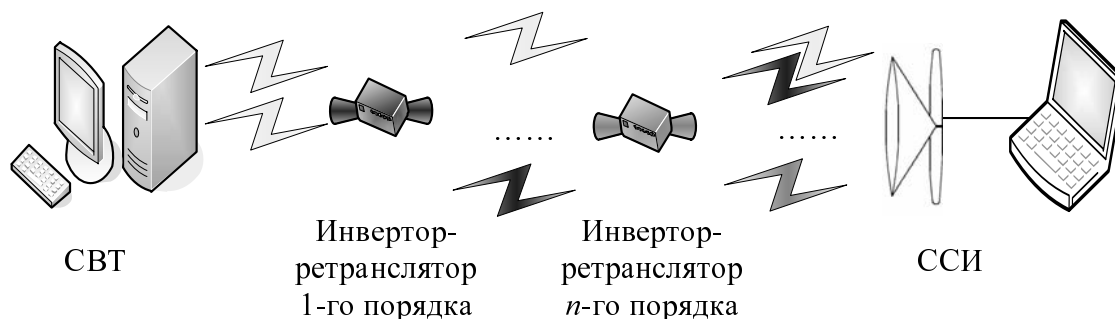


Рис. 6. Структурная схема реализации многоуровневой компенсации

В ходе исследований эффективности направленной одноуровневой и многоуровневой компенсации были проведены теоретические расчеты и поставлены эксперименты, подтверждающие их достоверность. Анализ полученных результатов эксперимента подтвердил возможность достижения значительного (до 9 дБ) снижения уровня средней мощности ПЭМИ при реализации схемы однонаправленной компенсации, а также показал выигрыш от применения схем многоуровневой компенсации, обеспечивающих приращение коэффициента ослабления еще на 3 дБ на каждый дополнительный уровень компенсации. Полученные результаты в основном соответствуют теоретическим оценкам, хотя и с незначительным снижением (до 2 дБ) абсолютных значений исследуемых показателей, что может объясняться несовершенством предлагаемых схемно-технических решений по структуре компенсатора и ошибками измерений. Дальнейшее повышение эффективности защиты информации от утечки по ПЭМИ может быть обеспечено попутным зашумлением остаточного (не скомпенсированного) ПЭМИ структурной помехой специального вида.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ СВТ

1. Комплекс для редотвращения утечки информации по каналу ПЭМИ должен включать в себя средства создания компенсационных помех и средства создания шумовых помех малой мощности для совместного обеспечения защиты информации.

2. При решении задачи защиты от утечки по каналу ПЭМИ конфиденциальной информации выбор способа создания компенсационных помех и параметров шумовых сигналов следует осуществлять исходя из ограничения на предельную мощность излучения помехи, сравнения заданного значения показателя результативности, определяющего качество защиты со значениями показателя (полученными применением того или иного помехового комплекса), а также возможностей исполнителя по созданию сложных комплексов помех.

3. В целях повышения эффективности защиты информации необходимо стремиться к снижению сложности комплекса помех. Для этого следует рассматривать возможность применения средств активного зашумления от простых к сложным до тех пор, пока не будет обеспечено заданное значение показателя результативности (применения АПКТ для создания и ложных отметок, и шума).

4. Для решения задачи развязки приемного и передающего трактов инвертора-ретранслятора целесообразно использовать антенны с разными видами поляризации, а также

применять узконаправленные антенны с низким уровнем боковых и задних лепестков диаграммы направленности. Для формирования шумовой помехи на основе ПЭМИ следует применять генераторы сигналов заданной формы (соответствующей форме спектра не скомпенсированного ПЭМИ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанные теоретические положения и методические основы позволяют формализовать задачу защиты информации, обрабатываемой СВТ, от утечки через ПЭМИ и решить ее путем выбора предпочтительного комплекса помех и оптимизации параметров помех при совместном применении средств компенсации и зашумления в условиях неопределенности алгоритма функционирования ССИ.

2. Предложены способы разноуровневой компенсации и активного зашумления ПЭМИ. Разработаны математические модели и практические рекомендации, позволяющие реализовать и оптимизировать технические характеристики используемых средств зашумления.

3. На основе анализа результатов теоретических разработок и практических экспериментов выработаны рекомендации по эффективному использованию совместного применения компенсации и зашумления информативного сигнала для предотвращения утечки конфиденциальной информации по каналу ПЭМИ от СВТ в условиях ограничений на техническую реализацию.

Список используемых источников

1. *Зюко А.Г.* Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации. – М.: Радио и связь, 1985.
2. *Радзиевский В.Г.* Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии. – М.: Радиотехника, 2006.

В.В. Грызунов,
кандидат техн. наук

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, ДЕГРАДИРУЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Предложена модель распределенных информационно-вычислительных систем военного назначения, обладающих элементами, подвижными в пространстве. Рассмотрено влияние информационно-технических воздействий противника в рамках модели.

Ключевые слова: модель иерархической гетерогенной информационно-вычислительной системы, решение задач в условиях информационно-технических воздействий противника, представление задач в деградирующей информационно-вычислительной системе.

Современные ВС РФ имеют на вооружении такие средства, как беспилотные летательные аппараты (БПЛА), космические аппараты (КА) и т. д. В ближайшем будущем планируется принять на вооружение наземные, подводные и т. п. робототехнические системы, создать единое информационное пространство ВС РФ. В ВС США и ОВС НАТО развивается концепция сетцентрических войн, в рамках которой уже используются (и прошли испытания при ведении боевых действий в Афганистане) различные робототехнические комплексы, создается система систем, объединяющая оборонительные и наступательные средства различных видов и родов войск в единый автоматизированный организм [1]. Это существенно повышает эффективность применения войск.

Любой робототехнический комплекс в своем составе имеет процессоры, память, устройства ввода/вывода и средства организации связи. При создании единого информационного пространства все устройства объединяются в одну информационно-вычислительную систему военного назначения (ИВС ВН), решающую широчайший спектр задач: от проведения видовой разведки до выдачи управляющих сигналов системам оружия. В силу того, что в ИВС ВН присутствуют подвижные элементы, ее структура динамично изменяется.

ИВС ВН функционирует в целенаправленной агрессивной среде, создаваемой противником. Противник влияет на ИВС посредством проведения информационно-технических воздействий (ИТВ). В данной статье под *ИТВ* будем понимать воздействия на процесс генерации, обработки, хранения и передачи данных в ИВС. Это полностью согласуется с определением, официально принятым в ВС РФ, под которое попадают не только действия противника, но и, например, возмущения естественного характера: сбои, отказы, действия стихии и т. д.

Таким образом, к ИТВ относится довольно широкий класс воздействий, приводящих к изменению свойств ИВС, интересующих пользователей – от компьютерных (внедрения «вирусов», атак DoS, IP Spoofing и т. д.) до физических воздействий на элементы инфраструктуры ИВС (уничтожения канала связи, подрыва серверов, воздействия электромагнитными импульсами, пожаров и пр.). Как правило, в ИВС реализации ИТВ препятствуют средства защиты (СЗ). В общем случае, СЗ не могут нейтрализовать все ИТВ, часть их достигает ИВС (рис. 1). Это происходит по ряду причин, например, интенсивность ИТВ превышает способности СЗ к сопротивлению, появляются принципиально новые ИТВ (новые «вирусы» и/или средства и методы компьютерных атак), для работы с которыми СЗ не предназначено.

Обычно ИТВ содержат в себе неопределенность, поэтому считаются недетерминированной средой и моделируются средствами теории вероятностей. В этом случае изучаются конкретные виды ИТВ, их количество, вероятности возникновения и т. д.

Однако такой подход к моделированию ИТВ целесообразен с позиций СЗ, так как позволяет выработать реакцию, нейтрализующую ИТВ.

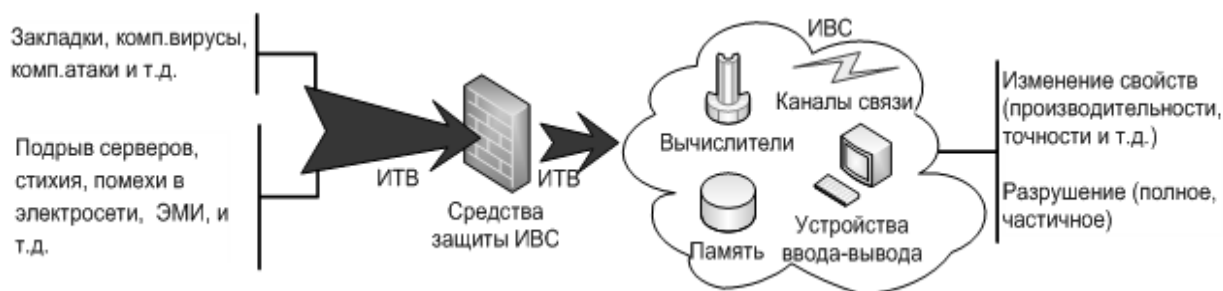


Рис. 1. ИТВ на ИВС

Целевыми задачами ИВС являются задачи по поддержанию свойств, необходимых пользователям (наличию доступа к базе данных, обеспечению трансляции сигналов с КА ДЗЗ, нанесению обстановки на 3D-карту и т. д.), а отнюдь не задачи по идентификации и нейтрализации ИТВ. Поэтому с точки зрения пользователей безразлично, каким именно образом ИВС утратила ожидаемое свойство – важным является то, что свойство утрачено. Следовательно, в данном случае необходим такой подход к моделированию ИВС и ИТВ, который позволял бы учитывать именно влияние ИТВ на ИВС, и необходимы такие методы поддержания нужных пользователю свойств, которые бы позволили нивелировать действие ИТВ.

Существуют следующие группы методов поддержания нужных пользователю свойств:

- внесение избыточности (увеличение производительности составных элементов, структурное резервирование, кластеризация, организация грид-систем и т. д.);
- оптимизация процессов в ИВС (виртуализация, конвейеризация, управление вычислительным процессом [workflow foundation] и т. д.);
- оптимизация структуры ИВС (Software as a service, Desktop as a service, сегментация ИВС, создание программируемой структуры и т. д.).

Перечисленные методы, в основном, используют стохастические модели ИТВ и, как следствие, стохастические модели ИВС. Однако стохастическими моделями описывается только та часть ИТВ, которая не имеет целенаправленного характера: воздействие стихии, потоки отказов программно-аппаратных комплексов, некорректные действия пользователей и т. д. Если же речь идет о целенаправленном воздействии противника, то среда ИТВ стохастической быть перестает.

В данной статье предложена модель, учитывающая динамику изменения структуры ИВС и описывающая взаимодействие ИВС с ИТВ как со средой, не являющейся стохастической. Прежде чем перейти к описанию модели, рассмотрим, как представляются задачи, решаемые в ИВС ВН.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧ В ИВС

ИВС ВН может решать разнообразный класс задач: от наблюдения за заданным районом с привлечением ресурсов наземных роботов (MDARS, MGS, NLOS-M и т. д.), БПЛА (X-47B, «Дозор», «Типчак» и т. д.), КА ДЗЗ и т. д., организации взаимодействия между подразделениями до сопровождения целей и генерации команд на их поражение.

Выполняемые задачи, как правило, связаны между собой. Опишем такую связь графом $\Gamma^{ПО}$. Его вершинами являются задачи, дугами отображаются зависимости между ними.

ИВС решает множество задач K за время T . Такая характеристика называется *производительностью*. Под *производительностью ИВС* Ω будем понимать количество задач $card(K)$, решенных за заданное время T

$$\Omega = \frac{\text{card}(K)}{T}. \quad (1)$$

Представим множество задач K в виде множества пятерок $K = \{\{\omega^k, t^k, \Delta t^k, \delta^k, \Delta \delta^k\}\}$, где для k -й задачи ω^k – необходимый ресурс;
 t^k – время выполнения;
 Δt^k – допустимые задержки (погрешности) во времени выполнения;
 δ^k – точность, с которой должна быть решена задача;
 $\Delta \delta^k$ – допустимые погрешности в точности.

В зависимости от толерантности задач к погрешностям, можно выделить следующие классы задач (табл. 1)

Таблица 1

Классификация задач по толерантности

Толерантность к задержкам	Толерантность к точности
$\Delta t^k \leq t^k$ – не толерантны (on-line видеотрансляция)	$\Delta \delta^k \leq \delta^k$ – не толерантны (наведение на цель)
$\Delta t^k > t^k$ – толерантны (подготовка к пуску КА, обработка телеметрии)	$\Delta \delta^k > \delta^k$ – толерантны (on-line трансляция видео- и аудиоразведанных)

Тип запрашиваемого задачей ресурса ω зависит от состава ИВС. Рассмотрим его подробнее.

СОСТАВ СОВРЕМЕННОЙ ИВС ВН

В современной ИВС ВН могут быть выделены стационарный (не способный к перемещению) и мобильный сегменты. Оба сегмента включают активные и пассивные элементы (рис. 2). Активными элементами являются те, которые способны самостоятельно перемещаться в физическом пространстве, изменять физическую структуру ИВС. К активным элементам относятся роботехнические системы: БПЛА, беспилотные подводные лодки и т. п., а также сетевое оборудование, которое может самостоятельно изменить физическую конфигурацию (топологию) сети: коммутаторы, мультиплексоры и т. д.

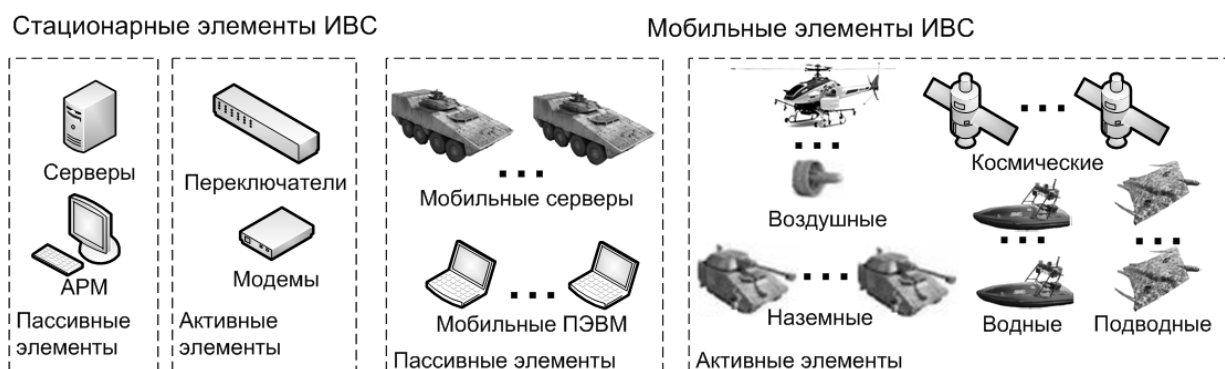


Рис. 2. Состав современной информационно-вычислительной системы

Любой элемент ИВС обязательно включает в себя следующие ресурсы [2]:

- вычислители (множество C);
- каналы связи (множество L);

- память (множество Sp);
- устройства ввода/вывода (множество Tr).

Следовательно, любая ИВС представляется как совокупность множеств вычислителей, каналов связи, памяти и терминалов $\{C, L, Sp, Tr\}$ с соответствующими производительностями $\{\omega_C \in \Omega_C, \omega_L \in \Omega_L, \omega_{Sp} \in \Omega_{Sp}, \omega_{Tr} \in \Omega_{Tr}\}$.

ИВС решает поставленные задачи только в том случае, если в ней существуют вычислители (операционная часть, выполняющая вычисления), каналы связи, связывающие элементы ИВС и их части между собой, память, хранящая результаты работы, исходные данные и т. д., устройства ввода/вывода, вводящие исходные данные и предоставляющие результаты работы. Сформулируем данное утверждение в виде аксиомы необходимости обладания ИВС производительностью:

Аксиома необходимости

$$\Omega > 0 \Leftrightarrow ((C \neq 0) \wedge (L \neq 0) \wedge (Sp \neq 0) \wedge (Tr \neq 0)) = 1.$$

Достаточное условие полной потери работоспособности ИВС (следствие аксиомы):

$$\Omega = 0 \Rightarrow ((C = 0) \vee (L = 0) \vee (Sp = 0) \vee (Tr = 0)) = 1.$$

Рассматриваемая производительность Ω является производительностью всей ИВС и измеряется количеством решенных задач в единицу времени (1). Производительность отдельных элементов ИВС измеряется в ГГц, бит/с, бодах, количестве точек на дюйм в единицу времени и т. д.

Следовательно, разрабатываемая модель ИВС должна предоставлять возможность выражать производительность всей ИВС через производительности отдельных элементов и наоборот. Такие модели существуют, например в теории массового обслуживания [2]. Они оперируют потоками задач и обслуживания, предполагая стохастичность потоков и используя аппарат теории вероятностей.

Однако для ИВС военного назначения поток обслуживания не может описываться языком теории вероятностей, так как он не является стохастическим и изменяется противником целенаправленно. Следующим существенным недостатком существующих моделей является сложность представления динамики изменения структуры ИВС ВН, возникающей, в том числе, и в результате ИТВ.

Рассмотрим модель ИВС, свободную от указанных недостатков.

МОДЕЛЬ ИВС БЕЗ ВОЗМУЩЕНИЙ (ИТВ)

Зададимся целью получить от создаваемой модели ИВС такие описания закономерностей и протекающих процессов, чтобы впоследствии сделать возможным организацию управления всей ИВС.

Ранее было показано, что современная ИВС ВН представляет собой распределенную в пространстве сложную систему, изменяющую свои структуру и функции. Такой системой сложно управлять централизованно, особенно в условиях ИТВ, так как после и/или во время ИТВ управляющей системе дополнительно необходимо решать задачу идентификации деградирующего объекта управления. Упростить реализацию управления в ИВС можно посредством децентрализации управления.

Существует несколько способов децентрализации управления: делегирование функций, организация иерархии в управлении. Поскольку военная специфика ИВС существенно ограничивает делегирование функций, далее рассмотрим вариант с организацией иерархии в управлении, подразумевающую иерархию в системе управления.

Под *системой управления* будем понимать совокупность управляющего элемента и объекта управления [3]. Наиболее полно функционирование иерархических систем рассмотрено в работе [4]. Применим разработанную методологию к моделированию ИВС.

В ИВС явно выделяются две страты:

1. Страта, описывающая ИВС как сервис, взаимодействующий напрямую с пользователем. Назовем эту страту *уровнем программного обеспечения* (уровнем ПО, УПО).
2. Страта, описывающая физические элементы ИВС, это *уровень физической структуры* (уровень ФС, УФС).

Состояния физических элементов ИВС описываются вектором

$$v = [v_x, v_r, v_y, v_\omega, v_v, v_s, v_l]^T,$$

- где
- v_x – собственные координаты;
 - v_r – координаты элементов, с которыми элемент связан физически;
 - v_y – координаты элементов, с которыми элемент связан логически;
 - v_ω – величина доступных ресурсов $\{\omega_c^B, \omega_{sp}^B, \omega_{tr}^B, \omega_l^B\}$ элемента;
 - v_v – максимальная и текущая скорость передвижения элемента;
 - v_s – энергетические запасы элемента;
 - v_l – количество связей, которые может образовать элемент.

На компоненты вектора v наложены ограничения типа $v \leq v^*$.

Моделируя ИВС на уровне ПО, мы оперируем понятиями «задача», «связь между задачами», «время решения задачи», «количество задач в единицу времени» и т. д. На уровне ФС используются «тактовая частота процессора», «пиковая пропускная способность канала», «разрешающая способность средств ввода/вывода», «скорость переключения» и т. д. Очевидно, отсутствует уровень, на котором производится трансляция понятий уровня ПО в понятия уровня ФС и наоборот. Введем такой уровень и назовем его *уровнем логической структуры ИВС* (уровнем ЛС, УЛС).

На УПО находятся программы/комплексы программ, решающие задачи пользователя, например видеопроигрыватель, офисные приложения, кодировщик сигналов и т. п. На УЛС организуется виртуальная структура [5], образующая пулы ресурсов, необходимых для выполнения задач на УПО: кластеры, транки и т. д. В свою очередь пулы ресурсов состоят из конкретных физических элементов, соединенных между собой с помощью физических каналов связи, например серверов, маршрутизаторов, проводов из оптоволокна и т. п.

Метауровнем в ИВС является УФС, на базе него строится УЛС, который в свою очередь является метауровнем для УПО. Эффективность работы всей ИВС оценивается по эффективности работы УПО. Изменения, вызванные ИТВ на метауровне, отображаются на вложенные уровни. Более подробно взаимное влияние метауровней и «вложенных» уровней описано в работе [6].

Назначение уровня ПО – обеспечить решение поставленных пользователем задач за заданное время с заданной точностью. В терминах ИВС это значит найти требуемое распределение ресурсов между задачами:

$$f^{УПО} : K \rightarrow \{\langle c, \omega_c \rangle, \langle sp, \omega_{sp} \rangle, \langle tr, \omega_{tr} \rangle, \langle l, \omega_l \rangle\}.$$

Согласно базовым закономерностям, действующим на этом уровне, чем больше доступно ресурсов, тем больше задач за заданное время сможет выполнить ИВС:

$$K \sim \text{card}(\{C, Sp, Tr, L\}), \quad K \sim \Omega_C, \Omega_{Sp}, \Omega_{Tr}, \Omega_L.$$

Необходимый ресурс уровень ПО запрашивает у уровня ЛС (рис. 3).

Уровень ЛС принимает от уровня ПО запрос на необходимый ресурс и, если это возможно, формирует из физических ресурсов пул, обладающий производительностью, необходимой уровню ПО:

$$\begin{aligned}
 f^{УЛС} &= [f_c^{УЛС}, f_{sp}^{УЛС}, f_{tr}^{УЛС}, f_l^{УЛС}]^T, \\
 f_c^{УЛС} &: \{\langle c^B, \omega_c^B \rangle\} \rightarrow \{\langle c, \omega_c \rangle\}, \\
 f_{sp}^{УЛС} &: \{\langle sp^B, \omega_{sp}^B \rangle\} \rightarrow \{\langle sp, \omega_{sp} \rangle\}, \\
 f_c^{УЛС} &: \{\langle c^B, \omega_c^B \rangle\} \rightarrow \{\langle c, \omega_c \rangle\}, \\
 f_c^{УЛС} &: \{\langle c^B, \omega_c^B \rangle\} \rightarrow \{\langle c, \omega_c \rangle\}.
 \end{aligned}$$

Ресурсы могут быть соединены последовательно или параллельно. От типа соединения общая производительность пула будет равна, соответственно:

$$\begin{cases} \Omega^{УЛС} \leq \min_{i=1, N}(\omega_i) \\ \Omega^{УЛС} \leq \sum_{i=1}^N \omega_i \end{cases} \quad (2)$$

Чтобы собрать пул с необходимой производительностью, уровень ЛС формирует запросы на физические перемещения/коммутации уровню ФС, т. е. на распределение ресурса ИВС в физическом пространстве (рис. 3).

Назначение уровня ФС – распределить имеющийся ресурс в пространстве так, чтобы из него можно было собрать необходимый пул:

$$\begin{aligned}
 f^{УФС} &= [f_c^{УФС}, f_{sp}^{УФС}, f_{tr}^{УФС}, f_l^{УФС}]^T, \\
 f_c^{УФС} &: v_\omega \rightarrow \{\langle c^B, \omega_c^B, v_\omega' \rangle\}, \\
 f_{sp}^{УФС} &: v_\omega \rightarrow \{\langle sp^B, \omega_{sp}^B, v_\omega' \rangle\}, \\
 f_{tr}^{УФС} &: v_\omega \rightarrow \{\langle tr^B, \omega_{tr}^B, v_\omega' \rangle\}, \\
 f_l^{УФС} &: v_\omega \rightarrow \{\langle l^B, \omega_l^B, v_\omega' \rangle\}.
 \end{aligned}$$

Изменять свое положение в пространстве могут только активные элементы ИВС (это изменение принято описывать дифференциальными уравнениями). Уравнения уровня ФС составляются на основе законов механики, описывающих подвижные части ИВС, и на основе законов электротехники, радиофизики, оптики и т. д., описывающих электрическое, радио-, оптическое или иное взаимодействие элементов. Например, уравнения движения для наземного робота можно составить, используя работу [7].

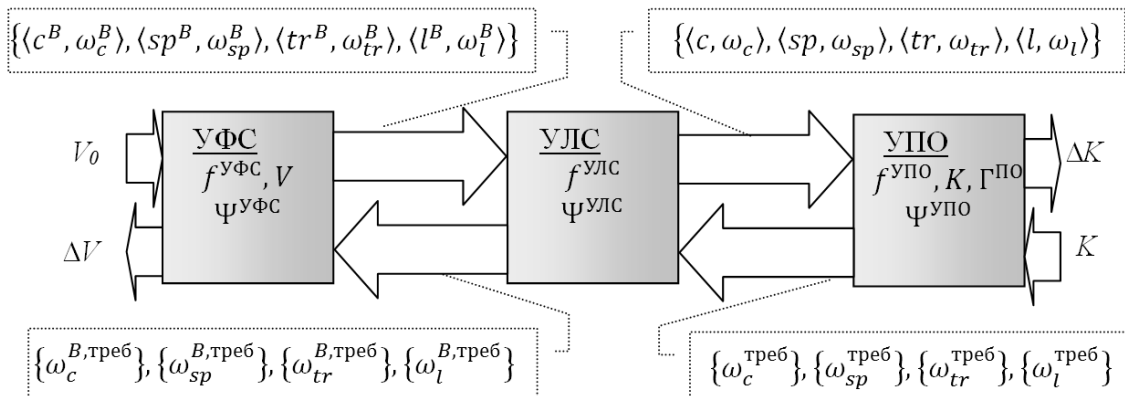


Рис. 3. Связь уровней в ИВС

Если по каким-то причинам ресурс не может быть размещен в пространстве требуемым образом, информация об этом сообщается уровню ЛС. На уровне ЛС производится попытка

сформировать другой пул ресурсов, обладающий требуемой производительностью. Если невозможно и это, то выбирается пул, обладающий наибольшей производительностью, и передается уровню ПО. Уровень ПО выполняет задачи пользователя, исходя из имеющихся в наличии ресурсов, реализуя допустимые для задач погрешности (табл. 1).

Используем предложенный подход для моделирования MDARS – роботизированной системы охраны ядерного полигона Невада [8]. Предположим, что решается задача по патрулированию внешнего периметра наземными роботами (НР). Моделируемая система содержит активные элементы НР и пассивный элемент – пульт оператора. Начальные векторы состояний элементов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Начальные векторы состояний элементов

Начальный вектор состояния V^{HP}_0 НР	Начальный вектор состояния V^{TV}_0 ПУ
$v_x = [0; 0]$ – собственные координаты;	$v_x = [0; 0]$ – собственные координаты;
$v_r = [-; -]$ – координаты элементов, с которыми связан физически;	$v_r = [-; -]$ – координаты элементов, с которыми связан физически;
$v_y = [-; -]$ – координаты элементов, с которыми связан логически;	$v_y = [-; -]$ – координаты элементов, с которыми связан логически;
V_ω – величина доступных ресурсов;	V_ω – величина доступных ресурсов;
$\omega_c^B = 1,6$ ГГц, $\omega_{sp}^B = 1$ Гб,	$\omega_c^B = 1,6$ ГГц, $\omega_{sp}^B = 1$ Гб,
$\omega_{tr}^B = 300$ dpi, $\omega_l^B = 11$ Мб/с;	$\omega_{tr}^B = 300$ dpi, $\omega_l^B = 11$ Мб/с;
$v_v = [35$ км / ч; 0 км / ч] – максимальная и текущая скорости передвижения;	$v_v = [0$ км / ч; 0 км / ч] – максимальная и текущая скорости передвижения;
$v_s = 16$ ч – энергетические запасы НР;	$v_s = \infty$ – энергетические запасы НР;
$v_l = 256$ – количество связей, которые может образовать НР	$v_l = 256$ – количество связей, которые может образовать НР

Для упрощения примера введем следующие ограничения.

Информация о ходе патрулирования должна отображаться на пульте управления. Длина периметра 4000 км (рис. 4). Время патрулирования $T = 10$ ч. Требуемая точность определения положения нарушителя периметра достигается при получении изображения с разрешением 900 dpi.

НР двигаются друг за другом. Количество НР – 40000. Расстояние между ними не превышает 200 метров. НР используются в качестве ретрансляторов сигналов, удаленных от пульта оператора НР. Сетевые адаптеры НР находятся в режиме *ad-hoc*, что позволяет динамически изменять логическую структуру сети. Радиус обзора каждого НР 200 м. Количество решаемых задач $card(K) = 1$.

Считаем, что $\omega_c^B = 1,6$ ГГц, $\omega_{sp}^B = 1$ Гб, $\omega_l^B = 11$ Мб/с достаточно для решения поставленных задач, поэтому опишем задачу так:

$$K = \{ \langle \omega^k = \omega_{tr}^{mpeб} = 900 \text{ dpi}, t^k = 10 \text{ ч}, \Delta t^k = 0, \delta^k = 5 \text{ м}, \Delta \delta^k = \pm 1 \text{ м} \rangle \}.$$

Уровень ПО запрашивает у уровня ЛС ресурс $\omega_{tr}^{mpeб} = 900$ dpi на $t^k = 10$ ч. Уровень ЛС запрашивает у уровня ФС ресурс $\omega_{tr}^{B,mpeб} = 900$ dpi на $t = 10$ ч, но уровень ФС обладает ресурсом $\omega_{tr}^B = 300$ dpi на $t = 16$ ч.

Элементов, обладающих таким ресурсом $40000 \text{ card}(V^{HP}) = 40000$. Данные об этом возвращаются уровню ЛС $\langle tr = 1 \div 40000, \omega_{tr}^B = 300 \text{ dpi} \rangle$. На уровне ЛС делается вывод о том,

что для решения поставленной задачи необходим пул ресурсов. Учитывая систему (2), для предоставления $\omega_{ir}^{mpe6} = 900 \text{ dpi}$ необходимо объединение в пул трех $\omega_{ir}^B = 300 \text{ dpi}$. Уровень ЛС запрашивает у уровня ФС ресурс $card(\omega_{ir}^{B,mpe6} = 300 \text{ dpi}) = 3$. На уровне ФС, определяется максимальное расстояние между НР в 100 м. Для патрулирования территории необходимо 40000 НР. Они есть в наличии. Информация о движении закладывается в НР, НР начинают патрулирование в соответствии с отданными командами под управлением собственной системы управления.

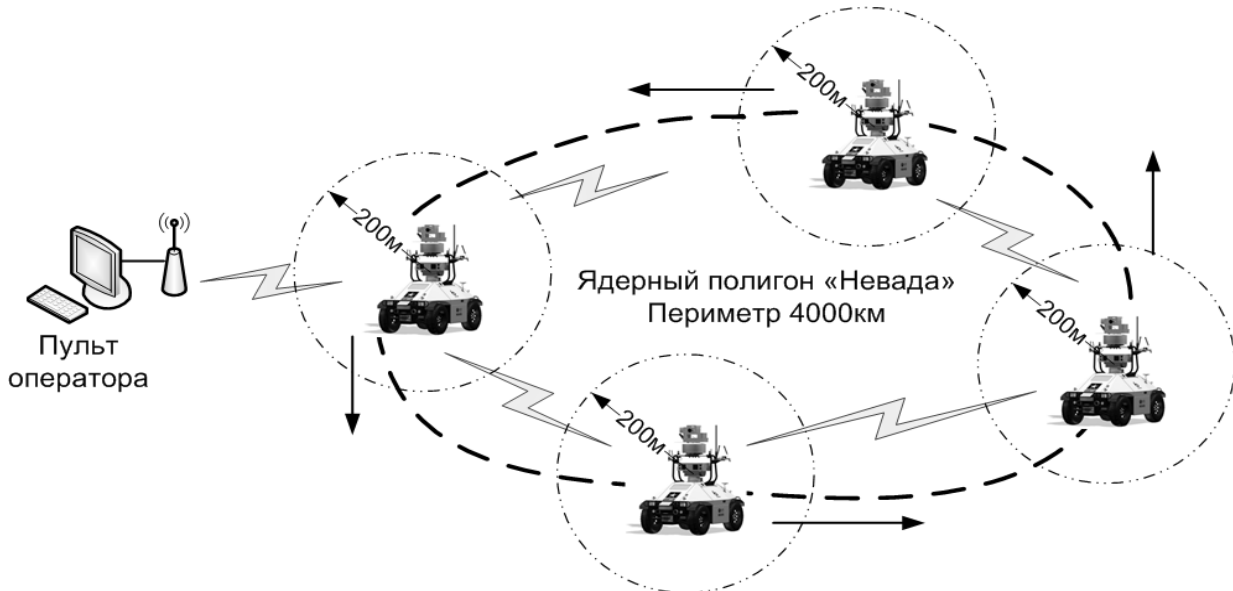


Рис. 4. Моделирование MDARS

Рассмотрим, как выглядит модель ИВС в условиях возмущений (ИТВ).

МОДЕЛЬ ИВС В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩЕНИЙ (ИТВ)

Построим модель ИТВ. Учитывая, что каждый уровень ИВС представляется как управляемый объект [9] и/или как объект, обладающей структурой [10], введем следующую аксиому.

Аксиома. ИТВ Ψ могут воздействовать только на функции ИВС Ψ_F и/или структуру Ψ_S ИВС:

$$\Psi = \Psi_F \cup \Psi_S.$$

Полный перечень возможных ИТВ приведен в работе [11]. Используя разработанную модель ИВС, классифицируем все ИТВ $\Psi = \{\Psi^{УПО}, \Psi^{УФС}, \Psi^{УФС}\}$ так:

1. ИТВ на уровень ПО $\Psi^{УПО} = \Psi_S^{УПО} \cup \Psi_F^{УПО}$, например, использования программного обеспечения технических средств ИВС через внесение программных закладок, применение вирусов или другого вредоносного программного кода и т. д.
2. ИТВ на уровень ЛС $\Psi^{УЛС} = \Psi_S^{УЛС} \cup \Psi_F^{УЛС}$, например, блокирование доступа к защищаемой информации путем перегрузки технических средств обработки информации ложными заявками на ее обработку, использования программных или программно-аппаратных средств при осуществлении компьютерной атаки и т. п.
3. ИТВ на уровень ФС $\Psi^{УФС} = \Psi_S^{УФС} \cup \Psi_F^{УФС}$, например, паразитное электромагнит-

ное излучение, несанкционированный доступ к информации путем подключения к техническим средствам и системам ИВС, хищение носителя защищаемой информации и т. п.

Воздействуя на уровень ПО, ИТВ изменяют распределение задач по ресурсам и количество задач $\Psi_S^{УПО} = \{\Delta f^{УПО}, \Delta K\}$ либо, например, модифицируют ПО, увеличивая время выполнения задачи, а значит, требуемую для решения задачи производительность $\Psi_F^{УПО} = \{\Delta \omega^k\}$.

На уровне ЛС в результате ИТВ могут быть разрушены созданные пулы ресурсов посредством удаления связей между физическим и виртуальным ресурсами.

Возможно также изменение состава пула

$$\Psi_S^{УЛС} = \{\Delta f^{УЛС}, \Delta\{C, Sp, Tr, L\}\}.$$

Функционально ИТВ могут изменить производительность пулов $\Psi_F^{УЛС} = \{\Delta \omega_c, \Delta \omega_{sp}, \Delta \omega_{tr}, \Delta \omega_l\}$.

ИТВ на уровень ФС включают физическое уничтожение элементов ИВС и связей между ними, а также принудительное перемещение элементов из требуемой области пространства $\Psi_S^{УФС} = \{\Delta f^{УФС}, \Delta\{C^B, Sp^B, Tr^B, L^B\}\}$. При этом могут изменяться векторы состояний элементов, включая производительность $\Psi_F^{УФС} = \{\Delta V\}$.

Рассмотрим ИТВ в рамках приведенного выше примера с патрулированием ядерного полигона.

На уровне ПО решается одна ни с чем не связанная задача, поэтому $\Psi_S^{УПО}$ ограничено только разрушением самого ПО, занимающегося контролем периметра. В этом случае система охраны будет разрушена. $\Psi_F^{УПО}$ может включать какие-то помехи, которые потребуют увеличения $\omega_{tr}^{мрѐб} = 900 \text{ dpi}$. Нейтрализация последствий ИТВ в данном случае будет заключаться в формировании нового пула ресурсов на уровне ЛС, что затронет распределение НР на уровне ФС.

На уровне ЛС посредством компьютерной DoS атаки возможно выведение из пула некоторых НР $\Psi_S^{УЛС} = \{\Delta f^{УЛС}\}$ и/или блокирование каналов связи с помощью *flood* $\Psi_F^{УЛС} = \{\Delta \omega_l\}$. Здесь нейтрализация ИТВ возможна только средствами уровня ФС.

$\Psi_S^{УФС}$ реализуются, например, путем подрыва некоторых НР $\Psi_S^{УФС} = \{\Delta Tr^B\}$. $\Psi_F^{УФС} = \{\Delta V\}$ может быть реализовано путем забрасывания генератора помех, который изменит $\omega_l^B \ll 11 \text{ Mb} / \text{s}$.

В примере и $\Psi_S^{УФС}$, и $\Psi_F^{УФС}$ приведут к тому, что нарушится ретрансляция сигналов от удаленных НР, и как следствие, будут разрушены пулы уровня ЛС, не выполнится задача уровня ПО.

Нейтрализация ИТВ будет заключаться, соответственно, в изменении направления ретрансляции, в перераспределении по периметру уцелевших НР. Это может привести к снижению точности обнаружения проникновений, но, тем не менее, позволит решить задачу охраны полигона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной статье сформулированы следующие особенности ИВС ВН:

- функционирование в целенаправленной агрессивной среде, не являющейся стохастической;
- наличие активных элементов в ИВС;
- децентрализованность системы управления ИВС.

Разработана модель распределенной в пространстве ИВС ВН, имеющей в своем составе активные и пассивные элементы.

Приведен пример моделирования системы патрулирования ядерного полигона Невада MDARS с использованием предложенного подхода.

Для применения предложенной модели к представлению реальных и/или проектируемых ИВС, необходимо разработать соответствующие методы.

Список используемых источников

1. *Паршин С., Коржанов Ю.* Концепции сетецентрического боевого управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общие и различия // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 4. – С. 7–18.
2. *Хорошевский В.Г.* Архитектура вычислительных систем. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 520 с.
3. *Цыпкин Я. З.* Основы теории автоматических систем. – М.: Наука, 1977. – 560 с.
4. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория многоуровневых иерархических систем. М.: Мир. 1973. – 344 с.
5. *Монахов О. Г., Монахова Э.А.* Параллельные системы с распределенной памятью: структуры и организация взаимодействий. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 242 с.
6. *Грызунов В.В.* Аналитическая модель целостной информационной системы // Доклады ТУСУР. – 2009. – № 1(19), ч.1. – С. 226–230.
7. *Добронравов В.В.* Основы механики неголономных систем. – М.: Высшая школа, 1970. – 270 с.
8. *Астапович А.М.* Экспериментальный роботизированный комплекс MDARS. – <http://guap.ru/guap/skb/docs/mdars.doc>.
9. *Калинин В.Н.* Теоретические основы системных исследований: краткий авторский курс лекций для адъюнктов академии. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 278 с.
10. *Додонов А.Г., Ландэ Д.В.* Живучесть информационных систем. – К.: Наукова думка, 2011. – 256 с.
11. ГОСТ Р 51275-2006 Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. – М.: Госстандарт России, 2006.

А.А. Котенок,

кандидат военных наук;

А.Е. Теренин,

кандидат психологических наук;

Е.Л. Кутузов

ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СРЕДСТВ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ВОЕННОСЛУЖАЩИХ

Рассматривается вариант расчета силы информационного воздействия средств массовой информации. Изложен подход к расчету эффективности информационно-психологического воздействия различных средств массовой информации на военнослужащих.

Ключевые слова: сила информационного воздействия, средства массовой информации, эффективность воздействия.

Современное развитие информационных технологий увеличивает степень влияния средств массовой информации (СМИ) и перепрограммирует поведение зрителей в нужном ракурсе. Такая функция СМИ, по мнению ряда авторов, давно превратилась (и активно используется) в качестве информационного оружия [3].

Военнослужащие являются неотъемлемой частью населения, связанного профессионально, поэтому их предпочтения в выборе источников получения информации в мирное, а иногда и в военное время, совпадают. Анализ перераспределения интересов и внимания аудитории к видам информационных источников на современном этапе развития (рис. 1) доказывает подавляющее смещение аудитории к Интернет-СМИ – оно составляет 65 %. При стремительном развитии Интернета и наличии средств мобильного доступа к нему возникает необходимость оценки эффективности психологического влияния СМИ на военнослужащих.

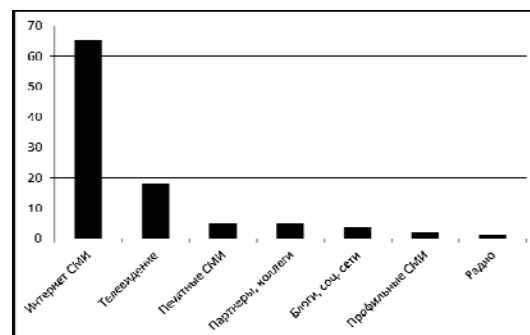


Рис. 1. Распределение аудитории по видам информационных источников человека

В ряде работ [1, 4] рассмотрен подход к определению силы информационного воздействия через расчет функции $Y(p)$ – количества читателей (зрителей), изменивших свою точку зрения под воздействием определенного количества (p) передач, при этом предполагалось, что любой объект информационного воздействия (социотехническая система, военнослужащий, народ, государство) имеет конечное или бесконечное число состояний. Сила информационного воздействия при таком подходе введена как физическая величина, характеризующая изменение состояния объекта информационного воздействия в ходе целенаправленного информационного воздействия в сравнении с его исходным состоянием. Данный подход применим после проведенного воздействия (воздействий), т. е. не позволяет оценить эффекта (потенциала) на этапе планирования.

Практический опыт показывает, что эффективность психологического воздействия (ПсВ) на военнослужащих необходимо рассматривать двояко, в двух смыслах.

В широком смысле *эффективность ПсВ* означает степень ее влияния на ход событий, военно-политическую обстановку в регионе, результаты ведения военных действий. В узком

смысле *эффективность ПсВ* – соотношение между полученным результатом деятельности и определенной целью ПсВ. Более точным и фиксируемым является определение эффективности конкретных мероприятий. Под *эффективностью ПсВ* понимается степень реализации поставленной цели при оптимальном использовании имеющихся возможностей. Это положение в полной мере относится к психологическому воздействию СМИ и является исходным для определения критериев ее эффективности.

Следует отметить, что оценка результатов психологического воздействия СМИ на военнослужащих и население всегда сопряжена с рядом трудностей. Прежде всего, это трудности объективного характера. Изменения в сознании, психике, а в итоге и в поведении военнослужащих не всегда связаны только с ПсВ – они являются результатом накопленного практического опыта при соприкосновении с процессами всей объективной реальности.

На формирование и изменение сознания одновременно влияют все факторы складывающейся оперативно-стратегической обстановки, и практически невозможно выделить доленое участие этих составляющих. При различных изменениях военно-политической обстановки ПсВ будет различным. В то же время результаты воздействия на сознание проявляются через достаточно большой промежуток времени и при определенных условиях.

Несмотря на указанные трудности, существует объективная необходимость определения степени влияния СМИ на морально-психологическое состояние личного состава Вооруженных сил. Данная потребность определяется, прежде всего, необходимостью выявления результатов психологического воздействия в интересах дальнейшего повышения его эффективности. Кроме того, эффективность ПсВ необходимо оценивать по результатам ее влияния на конкретные объекты в измеряемых величинах. Сделать это практически невозможно по принятым в настоящее время показателям (критериям оценки эффективности): уменьшению боевой активности, связанному со снижением инициативы; уклонению от участия в боевых действиях путем вывода из строя боевой техники, симуляции, членовредительству, самовольным отлучкам и дезертирству; повышению готовности сдать в плен. Однако все эти критерии в итоге ведут к снижению боевых возможностей воинских формирований и могут быть выражены в обобщенных цифровых показателях.

Рассматриваемые критерии предполагают ряд конкретных действий личного состава войск и населения противника, направленных против официальной политики военно-политического руководства, военного командования и проводимых ими мероприятий. Эти действия определяются показателями эффективности ПсВ. В то же время анализ изменений поведения объектов ПсВ позволяет сделать выводы об изменениях в сознании и психике личного состава Вооруженных сил. Установить подобные изменения элементов поведения объектов под воздействием ПсВ и сделать соответствующие выводы достаточно сложно. Для этого необходимо анализировать действия объектов ПсВ до, после и в ходе пропаганды СМИ. Наблюдение за аудиторией СМИ дает информацию о том, какие из материалов, средств, методов и приемов ведения ПсВ больше всего привлекают их внимание, а какие вызывают обратные действия.

Для оценки эффективности ПсВ большое значение имеет регулярное изучение материалов средств массовой информации противника. При анализе их содержания по различным признакам можно сделать вывод о проблемах противника, обнаружить его сильные и слабые стороны. Особый интерес представляют сообщения и комментарии, пытающиеся опровергнуть аргументы, представленные в СМИ.

Как показывает современный опыт, оценка эффективности ПсВ возможна путем создания математических моделей, объективно описывающих зависимость происходящих процессов психологического воздействия на человека и его поведение. Основное назначение таких моделей – получение информации о результатах применения различных средств, способов, приемов и методов ПсВ с целью сравнительного анализа этих результатов, а также их прогнозирования. Основными требованиями к математической модели являются объективность получаемых результатов и оперативность производимых расчетов. *Объективность получае-*

мых результатов может быть достигнута при помощи системного подхода и всестороннего учета наиболее существенных факторов оперативной обстановки сопоставлением полученных результатов с функционированием реальной системы ПсВ на практике. *Высокая оперативность математической модели* может быть достигнута применением ПЭВМ, приближенным учетом второстепенных факторов, разработкой рациональных методов решения задачи.

Известно, что основной целью воздействия СМИ на военнослужащих является снижение морально-психологического состояния личного состава Вооруженных сил и населения противника, приводящее в итоге к снижению боевых возможностей.

Исследования показывают, что математически снижение боевых возможностей можно определить по формуле

$$P_M = (1 - m_0) \Psi K_{\text{охв}} \Psi D, \quad (1)$$

где P_M – эффективность (потенциал) психологического воздействия СМИ;

m_0 – показатель исходного состояния объекта воздействия;

$K_{\text{охв}}$ – коэффициент охвата объекта психологическим воздействием;

D – действенность примененных СМИ.

Значение показателя исходного состояния объекта будет определяться, прежде всего, его количественным составом (индивидуальным или коллективным объектом) и величиной показателей составляющих элементов исходного состояния этих объектов.

Исходя из экспертных оценок, можно определить численные значения (при общем максимальном значении, равном 1,0) этих основных составляющих элементов исходного состояния индивидуальных и коллективных объектов (военнослужащего, подразделения).

Коэффициент охвата объекта психологическим воздействием ($K_{\text{охв}}$) определяется отношением части площади (объема) объекта, реально подвергшегося психологическому воздействию (тиражом СМИ) в доступном и достаточном для воздействия виде ($S_{\text{охв}}$), к общей площади (объему) этого объекта ($S_{\text{об}}$):

$$K_{\text{охв}} = S_{\text{охв}} / S_{\text{об}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{охв}}$ – коэффициент охвата объекта психологическим воздействием СМИ;

$S_{\text{охв}}$ – площадь (объем) части объекта, реально подвергшегося пропагандистскому и психологическому воздействию в доступном и достаточном для воздействия виде;

$S_{\text{об}}$ – общая площадь (объем) объекта.

Показатель действенности примененных СМИ (D) будет отражать суммарную силу (F) психологического воздействия всех примененных в данный момент времени СМИ на объект воздействия. Математическую зависимость этих показателей можно выразить формулой

$$D = \sum_{F=1}^n \{1 - (1 - F_1) \Psi (1 - F_2) \cdots (1 - F_n)\}, \quad (3)$$

где D – показатель действенности примененных СМИ;

$\sum_{F=1}^n \{1 - (1 - F_1) \Psi (1 - F_2) \cdots (1 - F_n)\}$ – суммарная сила психологического воздействия всех примененных в данный момент времени СМИ на объект;

F_1, F_2, F_n – сила отклика на образы и события, вызванные различными СМИ.

Суммарную силу психологического воздействия примененных СМИ средств на объект следует определять в диапазоне величин от «0» до «1,0». Каждому примененному СМИ (способу, методу, приему) в зависимости от силы и времени психологических последствий может быть присвоено усредненное значение показателя действенности при максимальном соответствии его содержания условиям обстановки.

Зависимость потенциала психологического воздействия СМИ от исходного состояния объекта воздействия, коэффициента охвата и действенности примененных СМИ отображена на рис. 2.

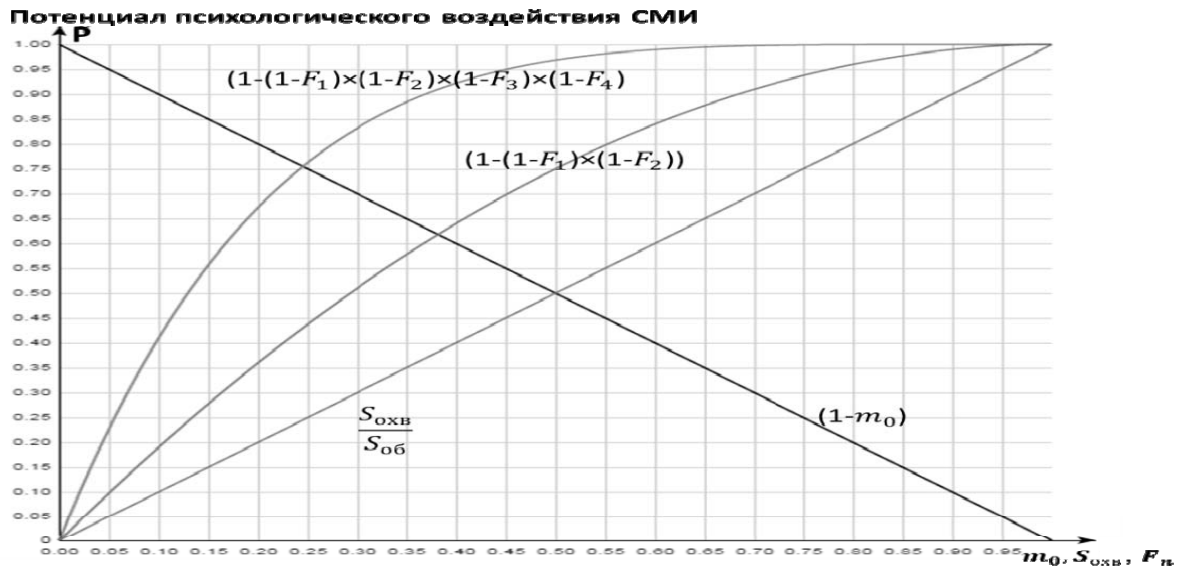


Рис. 2. Зависимость величины потенциала психологического воздействия от различных показателей

Анализируя графики, можно выявить ряд зависимостей:

- чем больше (сильнее) исходное состояние объекта (идейная убежденность, уровень подготовки), тем меньшее воздействие будет на него оказано;
- чем больше (шире) коэффициент охвата объекта (охваченная аудитория СМИ), тем сильнее воздействие;
- чем выше сила отклика, вызванная СМИ (актуальная передача с хорошо подобранным видеоматериалом, основанным на прямых фактах), тем оказанное воздействие окажется интенсивней;
- чем больше (разнообразнее) сегмент задействованных СМИ (Интернет-СМИ, телевидение, RSS), тем массивней оказанное воздействие.

Таким образом, представленный подход позволяет:

- рассчитывать потенциал психологического воздействия различных СМИ на военнослужащих;
- проводить оценку эффективности перспективных СМИ;
- учитывать свойства объектов воздействия при расчете;
- оценивать возможности по навязыванию военнослужащему точки зрения иностранных СМИ.

Список используемых источников

1. Дубровский Д.И. Информационный подход к проблеме бессознательного // Бессознательное. – Тбилиси: Мецниереба, 1978. – Т.3.
2. Караяни А.Г. Информационно-психологическое противоборство в войне: история, методология, практика. – М.: МГУ, 2007.
3. Красновский В.Н., Теренин А.Е., Кутузов Е.Л. Информация в социальных сетях и ее влияние на пользователя: сб. рефератов депонированных рукописей. – Сер. Б, вып. № 108. – М.: ЦВНИ МО РФ, 2014.
4. Крысько В.Г. Секреты психологической войны. – Минск, 1999.
5. Киселев С.В. Подпороговое внушение как фактор интенсификации процессов запоминания // Бессознательное. – Тбилиси: Мецниереба, 1978. – Т.3.

В.Н. Красновский,

кандидат психологических наук, доцент;

А.Е. Теренин,

кандидат психологических наук;

Е.Л. Кутузов

МОДЕЛЬ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрена многоуровневая структура равнозависимых целей и задач психологического влияния. Изложен подход к построению модели психологического воздействия в информационно-телекоммуникационных системах.

Ключевые слова: модель, психологическое воздействие, информационно-телекоммуникационные системы, мониторинг.

Существующие ныне концепции военного искусства указывают на тот факт, что достижение целей войны осуществляются не только военными, но и экономическими, дипломатическими и информационно-психологическими средствами, причем роль последних на протяжении столетий неуклонно возрастает.

Тревожные события на постсоветском пространстве, в странах Северной Африки четко обозначили смещение поля битвы в ментальную сферу, в сознание народа, в его национальную и культурную идентичность. Первым шагом на этом пути, представляемом как движение по пути прогресса, однако ориентированном на цель порабощения массового сознания (чтобы внешняя информационная агрессия воспринималась наименее болезненно) является дискредитация, а затем и уничтожение традиционных ценностей нации.

Все это указывает на то, что в современных войнах противоборство в информационно-психологической сфере становится действительно значимым явлением.

Технический уровень реализации информационных технологий одним из ведущих средств для проведения психологических воздействий (ПсВ) выдвигает информационно-телекоммуникационные системы (ИТКС). В настоящее время возможности ИТКС по сбору, обработке и распространению информации позволяют:

- осуществлять кодировку и перекодировку смыслового содержания различных сфер реальности (политической, экономической, социальной, культурной и др.);
- создавать и поддерживать в индивидуальном и массовом сознании мнимую реальность;
- отслеживать ПсВ противоборствующей стороны;
- находить и создавать самые разнообразные аудитории влияния;
- склонять должностных лиц военно-политического руководства к принятию требуемых решений.

Для изучения возможностей ПсВ в ИТКС на военнослужащих и организации защиты от него, авторами предложена модель ПсВ в ИТКС (далее – модель). Данная модель представляет собой систему взаимосвязанных компонентов воспроизводящих основные возможности ИТКС по ПсВ (рис. 1).

Психологическое воздействие в ИТКС подразумевает цифровой формат в системе символов социальных взаимоотношений и управления реальностью. Такое воздействие актуализировано на субъекте социальной коммуникации в рамках виртуального пространства

пользователя и может рассматриваться с позиции движения, так как имеет соответствующую структуру. Прежде всего, оно направлено на сетевое общение (о чем свидетельствует создание среды вовлеченных в сеть и не вовлеченных) путем чего дифференцирует социум на зоны влияния.

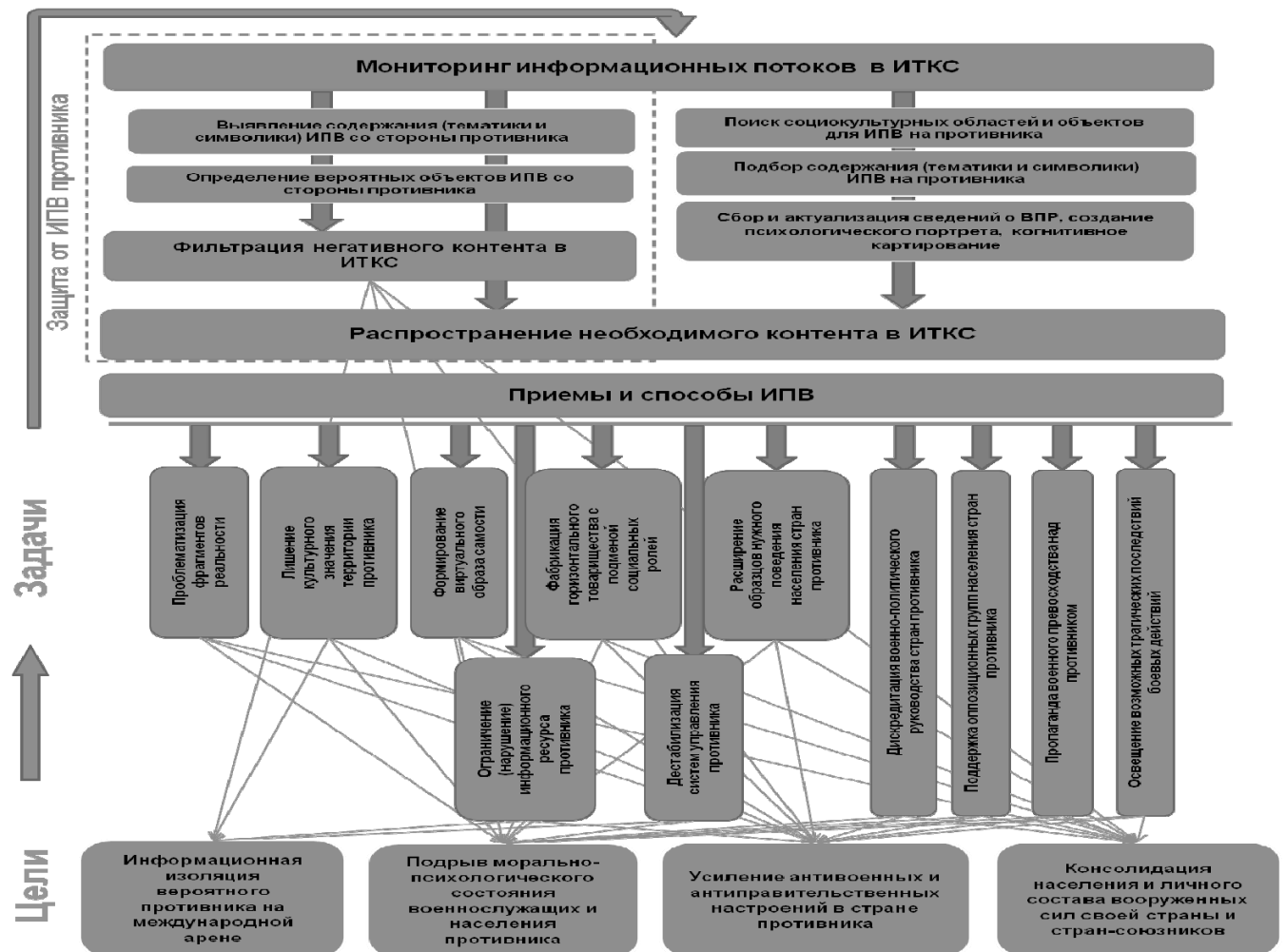


Рис. 1. Модель ПсВ в ИТКС

Важнейшим компонентом модели является блок целей и задач ПсВ. В зависимости от обстановки могут реализовываться различные варианты проведения информационной операции, поэтому в модели данный компонент представлен в виде многоуровневой структуры равнозависимых целей и задач влияния. Данные цели могут быть достигнуты решением ряда основных задач, которые по своей сути отображают технологию корректировки смысловой реальности общества и личного состава противника [1, 3, 5].

В качестве основных задач ПсВ в ИТКС выделяют следующие:

- актуализацию проблемных вопросов в стране (регионе);
- изменение культуры населения противника;
- включение в виртуальное пространство с подменой социальных ролей;
- стирание границ индивидуальности – создание общества потребления;
- расширение образцов нужного поведения населения противника;
- дискредитацию военно-политического руководства стран противника;
- пропаганду военного превосходства над противником;
- поддержку оппозиционных групп населения;
- освещение возможных трагических последствий боевых действий;

- дестабилизацию систем управления;
- ограничение (нарушение) информационного ресурса противника.

Общими задачами для всех периодов развития военно-политической обстановки являются:

- мониторинг информационных потоков;
- фильтрация контента;
- распространение контента.

Сами по себе задачи ПсВ вызваны сложными переплетениями динамических процессов, демонстрирующих создание поля активного внимания к противнику и способ переформирования фокуса максимальной активации в смене «языков» информации, который может повлиять на выбор социального поведения. В результате противник воспринимает действительность не целостно, а как виртуальный псевдообраз (без учета своей собственной и подлинной сущности). Таким образом в технике ПсВ соблюдается алгоритм, определяющий характер контактирования пользователя с информацией.

Посредством ИТКС создается новая психологическая реальность с нарушением «живого» партнерского взаимодействия и маскировкой производимого извне внушения, затрагивающая интеллектуальную и культурную сферы человека. Указанная ситуация предполагает *захват внимания пользователя; изменение субъективных взглядов* (убеждений человека в сфере сознания и понимания происходящей действительности); *максимальное исключение диалогической интроспекции*.

Здесь информационная среда влияния начинает процесс прессования, «разжевывая» и «пережевывая» навязываемые ею постулаты, а вся хитрость сводится к мастерству убеждать, что черное – это один из оттенков белого, и наоборот. Происходит подобный процесс путем конструирования условий или факторов, способных повысить ожидаемые реакции. При этом цель влияния состоит в том, чтобы изменить психологическое состояние адресата и дестабилизировать его самооценку, т. е. *создать такую социальную ситуацию, которая бы воздействовала на психическую структуру личности*.

Перереконструкция цели воздействия с изменением когнитивных и операциональных действий личности, позволяющих информационной среде влияния добиться планируемых образов мышления и кодировать приобретенные социальные рефлексивные стереотипы у разумного объекта или социальных групп, *направлена на ослабление регуляторов и побудителей активности*. Ее дезорганизующее влияние состоит в запуске процесса с массивным засорением ментального пространства пользователей, приводящего к эмоциональному искажению действительности, и корректировке реальности личного пространства индивида.

Технология ПсВ на личность адаптируется к общепринятому стилю мышления, повышая его размерность, подстраивается под него, для чего *используется смена «языка» информации*. Вначале создается доминирующая тема и ее насыщение содержанием, впоследствии происходит упрощение информации, а затем – упрощение циркулирования образов, отличных от тех, которые пользователь привык воспринимать в своей культуре [4].

Для максимального эффекта ПсВ необходимо объективировать и через функцию максимальной активности повысить внушаемость пользователя, смещая акцент в сторону смысловой интонации нового кода [2]. Иначе говоря, повышать не только роль дескриптивных суждений (информативных, индикативных, ассерторических, фактических), но и оценочные суждения, предполагающие иные модусы рассуждения и высказывания (*хорошо, плохо, хуже, лучше, вероятно* и т. д.), что дает возможность моделировать задачу любого рода и контролировать развитие ситуации.

Другим компонентом модели является блок мониторинга информационных потоков. Мониторинг можно было бы рассматривать наряду с основными задачами ПсВ, однако, указанный момент является связующим для всех задач, поскольку получает запросы от всех за-

дач на поиск необходимой информации для их решения, на выявление источников негативной информации, продвижение необходимой информации в ИТКС и осуществляет контроль их выполнения.

Мониторинг информационных потоков ИТКС предполагает решение ряда подзадач, в числе которых:

- определение вероятных объектов ПсВ со стороны противника;
- выявление содержания (тематики и символики) ИПсВ со стороны противника.

Данные подзадачи своим содержанием предопределяют важность решения таких самостоятельных задач, как *фильтрация негативного контента*, которая осуществляется в ИТКС путем дозирования информации из ресурсов противника, а при необходимости их блокировкой, и *распространение необходимого контента*, поскольку потребность пользователей в информации должна быть удовлетворена [6].

По своей сути, изложенное выше можно выделить на схеме в защитную компоненту, или алгоритм защиты от ПсВ противника в ИТКС.

Подзадачи мониторинга информационных потоков ИТКС (поиск социокультурных областей и объектов для ИПВ на противника; подбор содержания (тематики и символики) ИПВ на противника; сбор и актуализация сведений о военно-политическом руководстве) будут связаны непосредственным осуществлением ПсВ на противника.

Следует отметить, что мониторинг информационных потоков ИТКС осуществляется непрерывно на всех этапах развития военно-политической обстановки.

Таким образом, мониторинг информационных потоков ИТКС позволяет определить, какую информацию необходимо блокировать, а какую распространять, тем самым осуществляя и защиту, и воздействие в ИТКС.

Решение основных задач ИПВ в ИТКС, так или иначе, будет связано с компонентой, отвечающей за фильтрацию и распространение различного рода информации.

Фильтрация негативного контента при переходе к военному времени реализуется более жесткими способами, запрещенными в мирное время международными соглашениями, а сама задача приобретает характер одной из основных задач ПсВ периода агрессии, такой как *ограничение (нарушение) информационного ресурса противника*, ведущими агентами которой уже предстают программно-аппаратные закладки, «вирусы», «логические бомбы», D-DOS-атаки, радиоэлектронное подавление и др.

Распространение необходимого контента в ИТКС определяет, в каком виде будет доставлена информация влияния, насколько явным или скрытым влияние окажется. Решение данной задачи обеспечивает реализацию основных задач ПсВ еще через одну компоненту, представленную в виде множества различных приемов и способов воздействия, таких как:

- сопровождение контента необходимым визуальным рядом;
- применение коррекционных онлайн-игр;
- использование виртуально-идентификационных личностных блиц-опросников;
- создание сайтов необходимой тематики;
- создание в социальных сетях групп по проблемам;
- использование блогов медиаторов (публичных людей из сфер науки, политики, экономики, образования, искусства, спорта и др.);
- продвижение контента (рекламы, ретвиты, дискуссий, повышения рейтингов и количества просмотров);
- MMS-, SMS- и E-mail-рассылка;
- автодозвон на личные и служебные телефоны;
- использование программно-аппаратных закладок;
- вхождение в теле-, радиосети и АСУ;
- организация резервных способов доступа к обмену информацией;
- воздействие спама.

Вариативное комбинирование предложенных приемов и способов распространения необходимого контента позволяет осуществлять планирование и решение задач ПсВ в ИТКС различными стратегиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная модель позволяет подойти к разработке технологии ПсВ в ИТКС, которая создается на основе психологических манипулятивных техник, подпитываемых системой социальных институтов и реализуемых программно-аппаратными средствами. Ее цель – создавать ситуации, запускающие необходимую эмоциональную реакцию. По сути, психологическое воздействие осуществляется через семиотическую систему, которая, создав пустое пространство, корректирует реальность.

Модель воздействия актуальна в связи с влиянием на личностно-именное кодирование приватности и свободной публичности человека.

Информационно-психологическая среда ИТКС строит свои стратегии вокруг преобразования семиотического пространства, чтобы осуществить переход к иной культурной матрице. Поддержкой ограничения, манипуляционными идеологемами, заменами и стратегиями сравнения, социальная семиотическая система формирует значение смысла, расширяя одно содержание в другое.

Смысл, подверженный знаковой переработке, и неявные характеристики события заполняются «нужным» содержанием в средовых контактах, определяя границу иницированности понимаемых значений. Тем самым, смылосодержащие реальные события понижаются, становятся вторичными по отношению к поданной информации. Так информационно-психологическая среда ИТКС, обладая техническими возможностями транслировать различные градации смысла («смыслов»), заключенные в формах социально-культурных стереотипов, перемещает свой смысловой контроль на воспроизведение псевдореальности в контексте конкретной задачи влияния.

Список используемых источников

1. *Караяни А.Г., Зинченко Ю.П.* Информационно-психологическое противоборство в войне: история, методология, практика: учебное пособие для курсантов и студентов вузов. – М., 2007.
2. *Красновский В.Н., Теренин А.Е., Кутузов Е.Л.* Информация в социальных сетях и ее влияние на пользователя: сб. рефератов депонированных рукописей. – Сер. Б, вып. № 108. – М.: ЦВНИ МО РФ, 2014.
3. *Крысько В.Г.* Секреты психологической войны. – Минск, 1999.
4. *Цветкова Н.А.* Американский фактор в арабских революциях: мобилизация протеста через публичную дипломатию и социальные сети / Санкт-Петербургский центр изучения современного Ближнего Востока. – М., 2012. – URL: <http://www.meast.ru>.
5. Доктрина по информационной безопасности Российской Федерации. – М., 2000.
6. Извлечение информации из открытых источников глобальной компьютерной сети Интернет. – М., 2007.

В.К. Семенихин,
кандидат техн. наук;
Д.В. Кириченко,
доктор техн. наук;
А.А. Рыжих;
И.О. Лутов,
кандидат техн. наук

ВАРИАНТЫ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье рассматриваются принципы построения орбитальной системы КА с бортовыми оптико-электронными средствами видимого диапазона для решения задач контроля космических объектов в околоземном космическом пространстве. Приводится методический аппарат выбора параметров баллистического построения системы и обоснования требований к характеристикам бортовой оптико-электронной аппаратуры.

Ключевые слова: бортовые оптико-электронные средства, космические объекты, околоземное космическое пространство, система контроля космического пространства.

В настоящее время процесс получения данных о космических объектах (КО) реализуется наземными радиолокационными и оптико-электронными средствами отечественной системы контроля космического пространства (СККП). Несмотря на большие территориальные ресурсы государства, только за счет технического совершенствования и увеличения количества наземных информационных средств достичь необходимых характеристик СККП по глобальности действия, оперативности и точности получаемой о КО информации не представляется возможным.

Наряду с этим, существующая на сегодняшний день СККП не позволяет обеспечить нарастающие требования к оперативности решения задач выявления фактов маневров КО и определения с необходимой точностью параметров их движения после маневров.

Одним из вариантов решения задачи расширения возможностей отечественной СККП является создание орбитальной системы контроля КО в околоземном космическом пространстве (ОКП), по данным которой решается задача наблюдения за заданными КО на каждом витке, в том числе в условиях проведения данными КО маневров. Решение такой задачи связано с необходимостью осуществлять наблюдение заданных КО на каждом витке дважды и по результатам наблюдения определять параметры их движения с высокой точностью. Важным при этом является обеспечение глобальности контроля ОКП в области высот от 200 до 2000 км.

Создание такой орбитальной системы наиболее целесообразно осуществлять путем развертывания КА с бортовыми оптико-электронными средствами (БОЭС) видимого диапазона на солнечно-синхронной орбите. Для обеспечения необходимой точности в орбитальной системе должен быть реализован стереоскопический метод определения параметров движения наблюдаемых КО по результатам измерения углов их визирования БОЭС с двух КА орбитальной системы.

Пример структуры такой орбитальной системы и ее двойные зоны стереоскопического контроля приведены на рис. 1.

При построении орбитальной системы следует иметь в виду, что точность определения параметров движения КО стереоскопическим методом существенно зависит от угла между линиями его визирования с контролирующих КА.

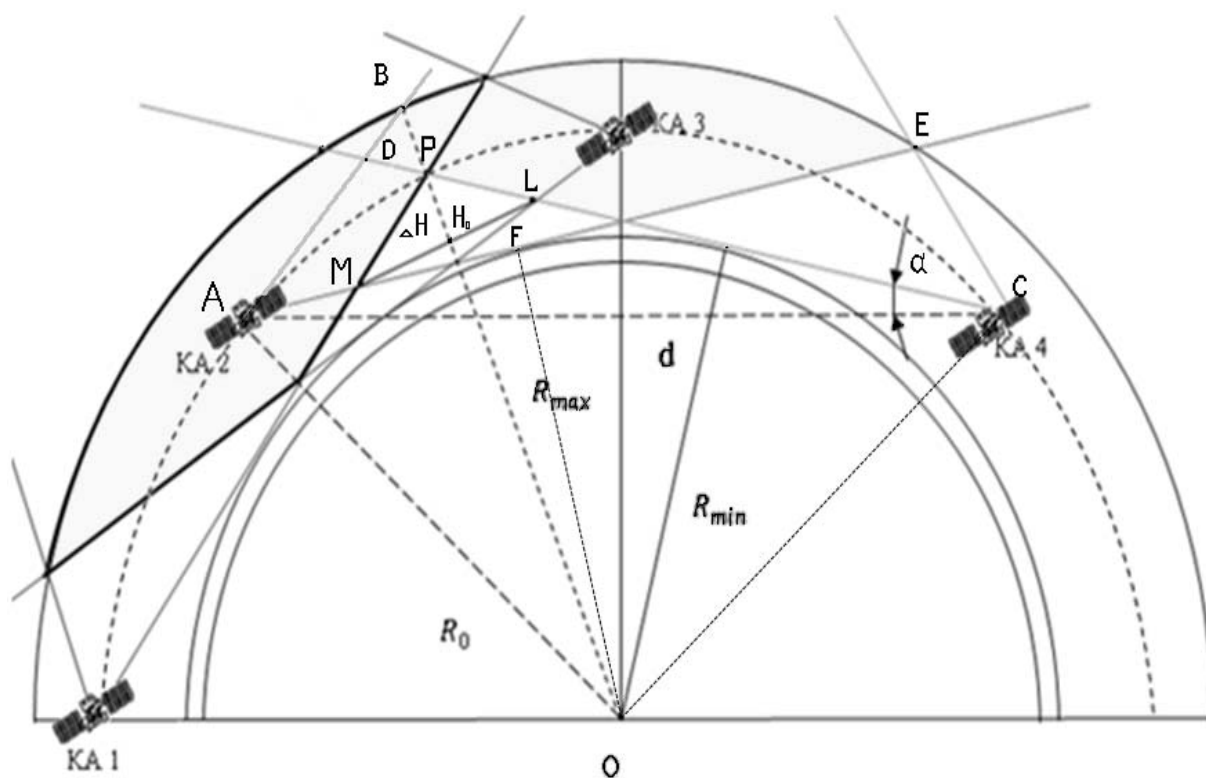


Рис. 1. Структура орбитальной системы контроля КО

Как видно из рис. 1, минимальное значение этого угла имеет место при определении параметров движения КО стереоскопическим методом на минимально возможной высоте. Значение минимального угла между линиями визирования при этом равно удвоенному значению угла α между линией визирования наблюдаемого КО и измерительной базой. Ошибка в определении координат наблюдаемого КО стереоскопическим методом в этом случае определяется следующим образом [1, 2]:

$$\sigma_R = \frac{2d \sin \alpha \cos^2 \alpha}{\sin^2 2\alpha} \sigma_\alpha, \quad (1)$$

где d – измерительная база,
 σ_α – ошибка угловых измерений.

После элементарных преобразований этого соотношения получим:

$$\sigma_R = \frac{d}{2 \sin \alpha} \sigma_\alpha. \quad (2)$$

Из приведенной зависимости очевидно, что при стремлении к нулю углов между линиями визирования и измерительной базой ошибка определения координат наблюдаемого КО стереоскопическим методам стремится к бесконечности.

В связи с этим минимальное значение этого угла следует выбирать таким образом, чтобы при имеющихся характеристиках БОЭС КА точность определения параметров движения контролируемых КО была не ниже требуемой. Это в значительной степени определяет баллистическое построение орбитальной системы. Вариант реализации стереоскопических измерений (рис. 1), позволяет обеспечить допустимые значения минимального угла α между линиями визирования контролируемых КО и измерительной базой за счет выбора высоты развертывания орбитальной системы. Этим обеспечивается возможность реализации требуемой высокой точности определения параметров движения заданных КО.

Радиус орбит КА при допустимом значении угла α на минимальной высоте контроля, т. е. при R_{\min} определяется следующим образом:

$$R_0 = \frac{R_{\min}}{\cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{N} - \alpha\right)}, \quad (3)$$

где N – количество КА в орбитальной системе при равномерном их распределении в плоскости орбиты.

Такое баллистическое построения орбитальной системы и максимальный центральный радиус в ближней зоне ОКП определяют основные требования к БОЭС КА по дальности действия и зонам обзора при реализации стереоскопического метода измерений. Максимальное β_{\max} (угол OAB) и минимальное β_{\min} (угол OAE) значения угла между центральным радиусом КА и возможными линиями визирования объектов определяются следующим образом:

$$\beta_{\min} = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{R_{\min}}{R_0}, \quad (4)$$

а максимальное β_{\max} (угол OAB) значение этого угла находится из решения косоугольного треугольника OAB :

$$\beta_{\max} = \arctg \left(\frac{R_{\max} - R_0}{R_{\max} + R_0} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2 \cdot N} \right) + \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{N} \right), \quad (5)$$

где R_{\max} – максимальный центральный радиус контролируемой зоны ОКП.

Тогда размер зоны обзора БОЭС КА в плоскости орбиты будет:

$$\Delta\beta = \beta_{\max} - \beta_{\min}. \quad (6)$$

Для обеспечения глобальности контроля БОЭС КА должны осуществлять обзор двух зон размером $\Delta\beta$ в передней и задней полусферах.

Предложенный вариант формирования контролирующих стереопар КА орбитальной системы позволяет исключить необходимость проведения стереоскопических измерений при малых дальностях обнаружения объектов.

В этом случае реализуются более благоприятные условия по обеспечению необходимого времени накопления сигнала на элементах матрицы фотоприемного устройства (ФПУ).

Сокращается также необходимый размер зоны обзора БОЭС по курсовому углу. Он определяется длительностью накопления результатов измерений, обеспечивающей требуемую точность определения параметров движения стереоскопическим методом.

Максимальная и минимальная дальности действия БОЭС КА (D_{\min} , D_{\max}) определяются из треугольника АДС, большая сторона которого равна измерительной базе d . При этом:

$$d = 2 \cdot R_0 \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi}{N}, \quad (7)$$

$$D_{\min} = d \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\pi - \beta_{\max} + \phi_\delta - \alpha)}, \quad (8)$$

где ϕ_δ – угол $АСО$,

$$D_{\max} = d \cdot \frac{\sin(\beta_{\max} - \phi_\delta)}{\sin(\pi - \beta_{\max} + \phi_\delta - \alpha)}. \quad (9)$$

Важным показателем орбитальной системы контроля является также коэффициент глобальности контроля объектов в заданной зоне ОКП. В первом приближении коэффициент глобальности K_Γ можно оценить путем определения площади треугольника MLP .

Основание этого треугольника потерь перпендикулярно центральному радиусу ОВ и проходит через точку на минимальной высоте H_0 полета контролируемых объектов. Высота треугольника потерь равна:

$$\Delta H_n = \frac{R_{\min}}{\cos \Delta \phi} - (R_s + H_0). \quad (8)$$

Угол при вершине треугольника потерь равен:

$$\Delta_{II} = \pi \cdot \left(1 - \frac{2}{N}\right) - 2 \cdot \alpha. \quad (9)$$

Тогда площадь треугольника потерь будет:

$$S_{II} = \Delta H_{II}^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta_{II}}{2}. \quad (10)$$

Коэффициент глобальности контроля при этом определится следующим образом:

$$K_\Gamma = 1 - \frac{S_{II} \cdot N}{\pi \cdot [R_{\max}^2 - (R_s + H_0)^2]}. \quad (11)$$

По полученным соотношениям проведено моделирование вариантов баллистического построения орбитальной системы контроля КО в ОКП при различных значениях количества контролируемых КА в составе системы.

Результаты моделирования при значении минимального центрального радиуса $R_{\min} = 6471$ км и минимально допустимом значении угла между измерительной базой и линиями визирования контролируемых объектов, равном 10 град, приведены в табл. 1.

Коэффициент глобальности в табл. 1 приведен применительно к контролю КО в ОКП, начиная с высоты 400 км.

Полученные результаты показывают, что для обеспечения коэффициента глобальности контроля КО в ближней зоне ОКП не ниже 0,8, в состав орбитальной системы должно входить не менее 8 КА на солнечно-синхронных орбитах.

Таблица 1

Параметры космического сегмента

Вариант построения	Количество КА в системе N	Высота орбиты системы H, км	Наклонение орбиты, град	Поле обзора БОЭС $\Delta\beta^0$, град	Минимальная дальность действия БОЭС D_{\min} , км	Максимальная дальность действия БОЭС D_{\max} , км	Коэффициент глобальности K_{Γ}
1	8	1532	102,13	32	2457	9493	0.867
2	10	831	98,73	42.5	1655	7570	0.924
3	12	517	97,46	49	1278	6324	0.954

Разработанный методический аппарат и количественные оценки, полученные на его основе, могут являться исходными для

- решения задач обоснования выбора вариантов построения орбитальной системы контроля КО в ближней зоне ОКП,
- определения требований к БОЭС КА,
- оценивания возможностей различных вариантов построения орбитальных систем контроля объектов в ОКП.

Список используемых источников

1. *Половников В.И.* Орбитальные системы контроля космического пространства и эффективность их применения. – МО РФ, 2004. – 118 с.
2. *Колесса А.Е.* Оценивание параметров движения объектов, наблюдаемых оптическими средствами малых космических аппаратов // Малые космические аппараты информационного обеспечения / под ред. В.Ф. Фатеева. – 2010. – С. 94–99.
3. А. с. 2319172 РФ. Способ определения координат космического объекта / В.И. Половников, В.В. Ильичев (РФ). – Оpubл. 19. 04. 2006.

Д.А. Авсюкевич,
доктор техн. наук, профессор;
Ю. М. Сударь
кандидат техн. наук

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ СООРУЖЕНИЙ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СЛОЖНОСТИ

Изложен подход к синтезу систем дистанционного автоматизированного управления (СДАУ) систем вентиляции на основе теории сложности. Сформулирована в общем виде задача синтеза структуры СДАУ, введены и обоснованы понятия *целевое пространство систем* и *пространство обликос систем* применительно к синтезу СДАУ. Также дано описание компоновочной и управляющей структур систем вентиляции.

Ключевые слова: синтез, теория сложности, управление, системы вентиляции.

Одним из путей повышения эффективности функционирования систем вентиляции сооружений наземных комплексов (НК) при минимальных капитальных затратах является повышение уровня их автоматизации. Системы вентиляции оснащены контрольно-измерительными приборами и СДАУ для обеспечения надежной, безопасной и экономичной эксплуатации.

Анализ современного состояния автоматизации систем вентиляции в сооружениях НК показывает, что СДАУ выполняют функцию регулирования (автоматического поддержания) температуры приточного воздуха. Задача управления в значительной мере усложняется вследствие непрерывного действия внешних и внутренних возмущений. Кроме функции регулирования осуществляются технологическая защита, предотвращающая возникновение аварий при нарушениях нормального режима работы основного и вспомогательного оборудования, и технологическая сигнализация о работе и состоянии агрегатов на мнемосхемах пульта управления.

До последнего времени при автоматизации систем вентиляции в сооружениях НК наибольшее распространение получили алгоритмы управления, реализованные на типовых блоках управления (БУ) и типовых элементах (ЭТ), а также на типовых блоках – блоке логики (БЛ), блоке задержек (БЗ), блоке задержки команд (БЗК), блоке мощности (БМ), блоке питания (БП).

К недостаткам существующих СДАУ, влияющим на экономическую эффективность работы систем вентиляции, на оперативное устранение неисправностей, можно отнести следующие:

- жесткость СДАУ по структуре, затрудняющую возможность изменения законов функционирования и управления процессами, протекающими в системах вентиляции;
- функциональную ограниченность существующих СДАУ, их неспособность к дальнейшему развитию и усовершенствованию (например, на торцах типовых блоков БЛ, БЗ, БЗК, БМ установлены специальные стержни для центровки и механической блокировки, исключающие возможность установки блоков другого типа взамен данного);
- трудность определения причины возникновения неисправности.

Опыт эксплуатации типовых СДАУ на различных НК показал их довольно низкую эксплуатационную надежность. Примерно 24 % отказов оборудования специальных технических систем приходится на СДАУ [1]. Для устранения указанных выше недостатков при разработке технических требований к СДАУ реконструируемых и перспективных НК существует тенденция повышения эффективности функционирования систем вентиляции за счет

разработки и внедрения более совершенных способов и средств управления. В процессе функционирования СДАУ системами вентиляции должна быть способна решать многие задачи, в числе которых:

- осуществление автоматических переключений в технологической схеме системы вентиляции для предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций;
- выполнение контроля параметров состояния оборудования систем вентиляции (текущего и по вызову);
- производство подсчета и регистрации технико-экономических и отчетных показателей работы оборудования систем вентиляции.

Современное направление развития автоматизации систем вентиляции характеризуется созданием специальных управляющих вычислительных комплексов на основе использования микро-ЭВМ, программируемых контроллеров. Поэтому для практической реализации оптимального управления наиболее целесообразным является применение современных СДАУ, основанных на передовых информационных технологиях, на применении современных аппаратных и программных средств.

Любая СДАУ системами вентиляции обладает своей структурой и параметрами, определяющими ее основные характеристики. Поэтому для повышения эффективности применения систем вентиляции СДАУ должна быть оптимальным образом спроектирована. Задачу структурно-параметрической оптимизации СДАУ системами вентиляции в сооружениях НК можно рассматривать как задачу синтеза СДАУ. Под *синтезом СДАУ* понимается направленный расчет, имеющий конечной целью отыскание рациональной структуры системы и установление оптимальных величин параметров ее отдельных звеньев [2].

В общем виде задача синтеза структуры СДАУ системами вентиляции выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi(u) &\rightarrow \text{opt}; \\ \sigma_{\eta} &\leq \sigma_{\eta}^{\text{треб}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Phi(u)$ – целевая функция;

u – структура СДАУ;

$\sigma_{\eta}^{\text{треб}}$ – ограничения типа η , учитываемые при формировании вариантов СДАУ.

Существует несколько теоретических методов синтеза СДАУ, которые являются теоретической базой отыскания оптимального решения. Среди них можно выделить корневой метод, метод корневых годографов, метод стандартных переходных характеристик, метод логарифмических амплитудных характеристик, метод на основе частотных критериев качества и др.

Рассмотренные методы синтеза СДАУ целесообразно использовать в тех случаях, когда в качестве наилучших качеств системы рассматриваются максимальная точность выполнения задачи, наиболее быстрый переход системы из одного заданного состояния в другое. Однако для СДАУ системами вентиляции эти показатели не являются определяющими, так как системы вентиляции являются инерционными и обладают определенным временным интервалом для реализации управляющего воздействия. Поэтому при структурно-параметрической оптимизации их системы управления целесообразно использовать другие методы синтеза.

Для этих целей могут быть использованы методы системного анализа. Исходя из специфики формализации процессов синтеза СДАУ, при рассмотрении методов системного анализа обращается внимание на возможности моделей, разрабатываемых с их применением, отражать во взаимосвязи структуру СДАУ, ее функциональное назначение, процессы эксплуатации и взаимодействия с системами вентиляции. Представление синтеза СДАУ, основанного на моделях с применением марковских процессов, систем массового обслуживания, сетей Петри, стохастических сетей, автоматных моделей, метода динамики средних, наиболее оптимально при изучении стационарных режимов поведения систем. Для изучения пре-

дельных режимов поведения систем пригодны модели, разрабатываемые с помощью методов системной динамики, имитационного моделирования и агрегативных моделей. Практически все методы позволяют отразить в разрабатываемых моделях процессы взаимодействия СДАУ и ее элементов с оборудованием систем вентиляции и внешней средой.

Метод имитационного моделирования вполне сочетается с методами синтеза систем управления, основанными на принципах теории сложности [3]. Теория сложности возникла исходя из растущих потребностей теории и практики проектирования систем автоматического управления в методах синтеза, отвечающих не только математическим, но и техническим критериям оптимальности. В настоящее время на базе принципа сложности создана теория сложности систем автоматического управления, охватывающая широкую область задач проектирования. Под *сложностью системы* в обобщенном смысле понимается показатель, характеризующий техническое воплощение решений, обеспечивающих достижение основной цели управления при заданном уровне качества управления.

При использовании теории сложности вводится понятие *целевое пространство систем* (ЦПС), учитываются особенности отображения ЦПС, позволяющие применять его системами вентиляции сооружений НК для структурно-параметрической оптимизации СДАУ.

При рассмотрении процесса выбора СДАУ (элемента x) в пространстве состояний вектор состояния является функцией непрерывного или дискретного времени. Для случая непрерывного времени и конечномерного вектора состояния задание состояния во все моменты времени означает задание векторной функции:

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)). \quad (2)$$

Подмножество X множества X_Σ всех систем с заданными на нем отношениями эквивалентности $\{R\}$ и частичной упорядоченности $\{P\}$, имеющее в числе признаков систем общую главную цель управления, называется *целевым пространством систем*. Таким образом, ЦПС представляет собой кортеж из трех элементов:

$$\text{ЦПС} = \langle X, \{R\}, \{P\} \rangle. \quad (3)$$

Условия и требования технического задания к СДАУ системами вентиляции определяют уровень технического воплощения для достижения цели управления с заданным качеством. Поэтому целесообразно ввести понятие *множество признаков систем* (МПС), входящих в ЦПС: $Y = \{\eta\}$, где η – признак, входящий в облик системы $x \in X$. Под *обликом системы* понимается подмножество признаков $Y^* \subset Y$, достаточное для выделения x среди прочих систем с заданной степенью детализации. К числу признаков η могут быть отнесены технические характеристики систем (ТХ), а также выражающие их документы: технические условия (ТУ), технические описания (ТО), технические требования (ТТ), технические задания для разработки систем и т. п.

Формализация ТХ осуществляется на предположении, что все эти данные могут быть выражены единым алфавитом, образованным символами – простыми словами ξ , из которых формируются сложные слова и совокупности слов, т. е. тексты на языке алгебры высказываний. Множество слов $\Xi = \{\xi\}$, выражающих ТХ, ТУ, ТТ и т. д., называется *пространством обликов систем* (ПОС). На ПОС может быть введено отношение частичного порядка:

$$(\xi_{k1} \dots \xi_{ks}) \leq (\xi_{q1} \dots \xi_{qr}), \quad (4)$$

если первое слово является следствием второго, т. е. если существует такое слово $(\xi_{p1} \dots \xi_{pt}) \in \text{ПОС}$, что

$$(\xi_{q1} \dots \xi_{qr}) \oplus (\xi_{p1} \dots \xi_{pt}) = (\xi_{k1} \dots \xi_{ks}), \quad (5)$$

где \oplus – символ операции «сшивания» слов.

Пара $\langle \text{ЦПС, ПОС} \rangle$ называется *реализуемой*, если существует сюръективное отображение $\varphi: X \rightarrow \mathcal{E}$, состоящее в том, что с системой $x \in X$ сопоставляется слово $\xi \in \mathcal{E}$, содержащее только признаки x . Обратное соотношение φ^{-1} сопоставляет со словом $\xi \in \mathcal{E}$ систему $x \in X$, реализующую только те признаки, которые заключены в слове ξ .

В теории сложности в качестве критерия оптимальности может использоваться критерий, учитывающий стоимость аппаратной реализации СДАУ. Критерий эффективности принимается в следующем виде [3]:

$$\mathcal{E} = W(h^2, \sigma^2) / C_{\text{об}}(\nu) \rightarrow \max, \quad (6)$$

где \mathcal{E} – эффективность;

W – вероятность нахождения выходной величины СДАУ в заданных пределах;

h – оценка динамической ошибки;

σ – среднеквадратическая ошибка;

$C_{\text{об}}$ – обобщенные затраты на СДАУ;

ν – функционал сложности.

В данной работе в качестве критерия оптимальности используется минимум суммарных капитальных затрат на создание и затрат при эксплуатации за весь период жизненного цикла СДАУ:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{кап}} + C_{\text{экс}} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Остальные показатели эффективности применения СДАУ системами вентиляции включаются в состав ограничений.

В общем случае целевая функция структурно-параметрической оптимизации СДАУ системами вентиляции с требуемым уровнем ее надежности имеет вид

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^I C_i, \quad (8)$$

где I – число подсистем СДАУ;

C_i – затраты на каждую подсистему, зависящие от типа подсистемы.

В качестве подсистем СДАУ рассматриваются:

- пульты дистанционного управления,
- шкафы с аппаратурой,
- шкафы управления, устанавливаемые по месту,
- источники постоянного тока,
- комплекты ЗИП.

Затраты C_i определяются составом оборудования, входящим в состав i -й подсистемы. Тогда имеем:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij}, \quad (9)$$

где J – количество типов оборудования, входящего в состав i -й подсистемы;

C_{ij} – затраты, определяемые типом и параметрами рассматриваемого оборудования.

Учитывая, что при построении разных вариантов СДАУ системами вентиляции определенные типы оборудования могут не входить в состав подсистем, то целесообразно выражение (9) представить в следующем виде:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^2 C_{ijf} d_{ijf}, \quad (10)$$

где d_{ijf} – булева переменная, определяющая выбор варианта построения i -й подсистемы, т. е. определяющая необходимость использования j -го оборудования в составе i -й подсистемы.

Введение булевой переменной d_{ijf} накладывает ограничение по выбору варианта построения i -й подсистемы, а соответственно, и всей СДАУ:

$$\sum_{f=1}^2 d_{ijf} = 1; i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}; \quad (11)$$

$$d_{ijf} = \begin{cases} 1, & \text{если выбран } f\text{-й вариант построения } i\text{-й подсистемы;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где D – вектор описания структуры подсистем СДАУ, а соответственно, и структуры СДАУ в целом. Причем $D = (d_{111}, d_{121}, \dots, d_{1J1}, d_{112}, d_{122}, \dots, d_{1J2}, d_{211}, d_{221}, \dots, d_{IJ2}, d_{212}, d_{222}, \dots, d_{IJ2})$; $D \in X$;

X – множество допустимых структур.

Множество X полностью соответствует определению ЦПС, рассмотренному ранее при введении понятия *сложность*.

При формировании целевой функции структурно-параметрической оптимизации СДАУ системами вентиляции сооружений РКК рассматриваются следующие ограничения:

– по надежности:

$$\left. \begin{aligned} K_{rk} &\geq K_{r\text{треб}}; \\ T_{vk} &\leq T_{v\text{треб}}; \\ k &= \overline{1, K}, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где K_{rk} – коэффициент готовности СДАУ k -го варианта;

$K_{r\text{треб}}$ – нормируемое или устанавливаемое значение коэффициента готовности;

T_{vk} – среднее время восстановления СДАУ k -го варианта;

$T_{v\text{треб}}$ – нормируемое или устанавливаемое значение среднего времени восстановления;

– по времени исполнения команды:

$$\tau_{\beta k} \blacklozenge \tau_{\beta}; k = \overline{1, K}, \quad (13)$$

где $\tau_{\beta k}$ – время решения β -й задачи СДАУ k -го варианта;

τ_{β} – допустимое время решения β -й задачи;

– по точности поддержания выходных параметров:

$$e_k \leq e_{\text{треб}}; k = \overline{1, K}, \quad (14)$$

где e_k – показатели точности поддержания выходных параметров, обеспечиваемые СДАУ k -го варианта;

$e_{\text{треб}}$ – требуемые показатели точности поддержания выходных параметров;

– по массе и габаритам:

$$\left. \begin{aligned} m_k &\leq m_{\text{max}}; \\ a_k \text{ Ч}b_k \text{ Ч}c_k &\leq a_{\text{max}} \text{ Ч}b_{\text{max}} \text{ Ч}c_{\text{max}}; \\ k &= \overline{1, K}, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где m_k – масса оборудования СДАУ k -го варианта;

m_{max} – максимальная масса оборудования СДАУ;

$a_k \text{ Ч}b_k \text{ Ч}c_k$ – габариты СДАУ k -го варианта;

$a_{\text{max}} \text{ Ч}b_{\text{max}} \text{ Ч}c_{\text{max}}$ – максимальные габариты СДАУ;

– по компоновке, обслуживанию, ремонту, условиям эксплуатации:

$$\left. \begin{aligned} Z_k &= \{Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kn}\} \subset Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}; Z \subset \mathcal{E}; k = \overline{1, K}; n = \overline{1, N}; \\ V_k &= \{V_{k1}, V_{k2}, \dots, V_{km}\} \subset V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}; V \subset \mathcal{E}; k = \overline{1, K}; m = \overline{1, M}; \\ W_k &= \{W_{k1}, W_{k2}, \dots, W_{kl}\} \subset W = \{W_1, W_2, \dots, W_l\}; W \subset \mathcal{E}; k = \overline{1, K}; l = \overline{1, L}, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где $Z_k = \{Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kn}\}$ – множество слов, выражающих решение по компоновке k -го варианта СДАУ;

$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ – множество слов, содержащих требования к компоновке СДАУ;

$V_k = \{V_{k1}, V_{k2}, \dots, V_{km}\}$ – множество слов, выражающих решение по обслуживанию и ремонту k -го варианта СДАУ;

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ – множество слов, содержащих требования к обслуживанию и ремонту СДАУ;

$W_k = \{W_{k1}, W_{k2}, \dots, W_{kl}\}$ – множество слов, выражающих условия эксплуатации k -го варианта СДАУ;

$W = \{W_1, W_2, \dots, W_l\}$ – множество слов, содержащих требования к условиям эксплуатации СДАУ;

N, M, L – количество слов, из которых формируются указанные выше условия;

\mathcal{E} – множество слов, образующих ПОС.

При структурно-параметрической оптимизации СДАУ систем вентиляции используются понятия их *компоновочной* и *управляющей структур*.

Компоновочная структура системы вентиляции определяет состав оборудования, необходимого для обработки и перемещения воздуха, взаимосвязь основного оборудования. Важным свойством компоновочной структуры является характер взаимосвязей основного

оборудования для обработки воздуха, определяющий режимы его функционирования, особенности процессов обработки воздуха.

Компоновочная структура определяется как компоновочный граф, вершинами которого являются элементы системы вентиляции, т. е. основное оборудование – вентиляторы, воздухонагреватели, камеры орошения (в системах кондиционирования воздуха), рекуператоры, фильтры и т. д.

Помимо основного оборудования к числу вершин компоновочного графа могут быть отнесены и контрольно-измерительные приборы, например, датчики потока воздуха, датчики температуры. Ребра компоновочного графа характеризуют связи между этим оборудованием, определяемые режимом обработки воздуха.

Управляющая структура системы вентиляции определяет состав и взаимодействие средств контроля, управления, автоматизации процессов обработки и перемещения воздуха. Управляющая структура может быть определена как управляющий граф, вершинами которого являются элементы и устройства управления оборудованием по обработке и перемещению воздуха, а также устройства переработки информации о состоянии параметров воздуха и оборудования. Ребра графа характеризуют потоки управляющей и контрольно-диагностической информации.

Соединение вершин компоновочных и управляющих графов приводит к образованию вершин организационно-технических графов, интерпретирующих распределение потоков управляющей и контрольно-диагностической информации по элементам оборудования систем вентиляции.

Использование предложенного в статье подхода к разработке оптимальной структуры СДАУ системами вентиляции сооружений НК позволяет осуществить синтез СДАУ, отвечающих как математическим, так и техническим критериям оптимальности. Реализация на практике таких СДАУ приведет к повышению эффективности функционирования систем вентиляции сооружений НК.

Список используемых источников

1. Определение порядка сбора данных, алгоритма их обработки и вычисления показателей надежности специальных технических систем комплекса 11П825: отчет № 192 на тему х/д № 417, Бриз-46. – Л.: ВИКИ, 1991.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1975.
3. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.

К.В. Алексеев,
кандидат техн. наук;
А.Н. Добролюбов,
кандидат техн. наук;
А.С. Лебедев;
Д.П. Мохнаткин

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОСТИ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рассматриваемый метод определения напряженности и остаточного ресурса несущих металлических конструкций основывается на зависимости механических, физических, в том числе магнитных, свойств сталей от их структурного состояния. На примере установленной зависимости коэрцитивной силы от напряжений при растяжении углеродистых сталей показана зависимость их структурного состояния не только от химического состава, но и от внешнего воздействия.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, коэрцитиметрия, магнитный контроль, металлические конструкции, структура металла, ресурс.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность применения космических систем напрямую зависит от фактического технического состояния элементов космической техники и во многом определяется состоянием объектов наземной космической инфраструктуры. Общей тенденцией эксплуатации наземной космической инфраструктуры в настоящее время является увеличение числа объектов, наработка которых превышает назначенный ресурс или срок службы. В элементах таких технических объектов, как правило, происходит накопление повреждений, вызванных различными деградиационными процессами, и эксплуатация объектов в подобных условиях сопряжена с повышенной опасностью. В этом случае нормативными документами предусмотрена обязательная процедура технического диагностирования, базирующаяся на оценивании технического состояния и остаточного ресурса объекта.

Определение технического состояния элементов объектов при диагностировании основывается на применении неразрушающего контроля (НК) для выявления зарождающихся и развивающихся дефектов на как можно более ранних стадиях их развития.

При диагностировании технических объектов важная роль отводится контролю технического состояния металлических конструкций. Металлические конструкции (МК) составляют основу большинства элементов космической техники. Типовыми МК являются элементы строительных конструкций, элементы технологического оборудования стартовых и технических комплексов, подъемных сооружений, котлов, трубопроводов и сосудов, работающих под давлением [1].

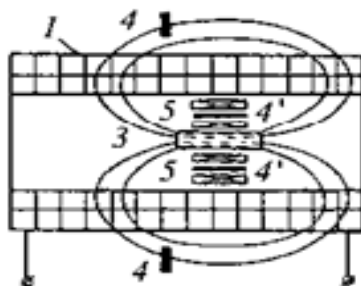
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗДЕЛИЙ

Коэрцитиметрические методы контроля благодаря высокой чувствительности к структурным изменениям и фазовым превращениям, достаточной простоте, значительной точности, слабой зависимости от геометрических размеров и возможности проведения измерений в ло-

кальных участках изделий из всех магнитных методов НК получили наиболее широкое распространение.

Магнитный метод неразрушающего контроля позволяет определить зону концентрации напряжений на МК, упреждая зарождение эксплуатационных дефектов, на выявление которых нацелено подавляющее большинство видов и методов НК.

При использовании магнитометрического метода регистрации коэрцитивной силы необходимо измерять небольшие значения напряженности магнитного поля рассеяния, что требует создания высокочувствительных преобразователей. С появлением феррозондовых преобразователей и преобразователей Холла магнитометрические методы получили дальнейшее развитие.



*Рис. 1. Намагничивающие устройства для измерения коэрцитивной силы в коэрцитиметрах Ферстера:
1 – намагничивающее и размагничивающее устройства; 3 – образец;
4 – магниточувствительный элемент; 5 – компенсационные катушки*

Ф. Ферстер, используя феррозондовые преобразователи, разработал коэрцитиметр с большой чувствительностью. Для исключения влияния поля соленоида на результаты измерения поля рассеяния от образца, ферроэлементы зонда ориентировали перпендикулярно к силовым линиям размагничивающего поля соленоида (рис. 1) в нейтральной плоскости.

Намагничивающий соленоид 1 и измерительный зонд **4** защищены от действия земного поля и внешних помех магнитомягким экраном, который автоматически размагничивается специальной катушкой после каждого цикла измерения. Для контроля очень мелких изделий применяют **внутренние феррозонды 4'**, расположенные около детали, параллельно ей. Влияние размагничивающего поля компенсируется с помощью небольших катушек **5**, намотанных на феррозонд и создающих встречное поле, равное по величине полю размагничивания. Бесконтактный способ регистрации значения коэрцитивной силы позволяет достаточно легко автоматизировать процесс ее измерения, что очень важно при массовом контроле изделий.

В качестве чувствительного элемента для регистрации магнитного момента в коэрцитиметрах также широко используются преобразователи Холла. Конструктивно коэрцитиметры с преобразователями Холла незначительно отличаются от коэрцитиметров с феррозондовыми преобразователями.

Эффект Холла заключается в возникновении поперечной разности потенциалов (ЭДС Холла) на боковых гранях пластины, находящейся в поперечном магнитном поле при пропускании через нее электрического тока.

Схема включения преобразователя Холла показана на рис. 2.

При пропускании постоянного тока через преобразователь значение U_x определяется только напряженностью поперечного магнитного поля дефекта. Благодаря именно этому преобразователи Холла широко используются в магнитной диагностике.

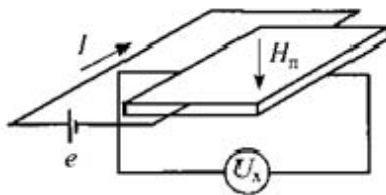


Рис. 2. Схема включения преобразователя Холла:

U_X – ЭДС Холла; $H_{п}$ – вектор напряженности приложенного магнитного поля;
 e – источник питания

Быстрое распространение преобразователей Холла обуславливается их многочисленными преимуществами, важнейшими из которых являются следующие:

- преобразователь Холла является статическим элементом, что дает ему преимущество перед индукционным, измеряющим магнитное поле только в момент перемещения;
- малые размеры (10x10 мкм) и высокая надежность в работе.

ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЕ

Измерения коэрцитивной силы образцов стали при одноосном нагружении показывают, что направлениями экстремальных значений H_c являются направления 0 и 90° по отношению к прикладываемой нагрузке. Именно в этих направлениях в дальнейшем и проводят измерения H_c образцов. Результаты исследований по одноосному растяжению образцов представлены на рис. 3 (сплошные линии соответствуют направлению 90°, штриховые – 0°).

В области упругих деформаций наибольшей чувствительностью к растягивающим напряжениям обладает коэрцитивная сила, измеренная в направлении 90° С. Приращение H_c в области упругих деформаций составляет десятки процентов от начального уровня. Кроме того, для всех исследуемых образцов отсутствует гистерезис характеристик $H_c(\sigma)$ в этой области [2].

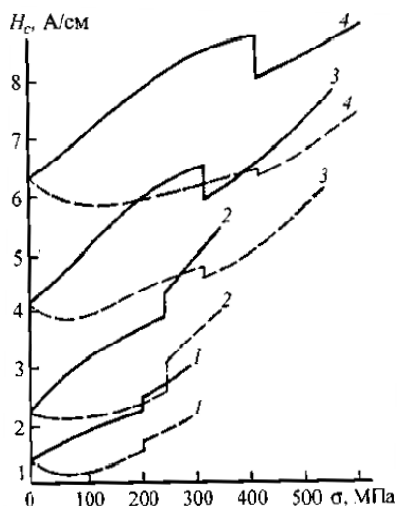


Рис. 3. Зависимость коэрцитивной силы от напряжений при растяжении углеродистых сталей марок 10 (1), 25 (2), 35 (3), 45 (4)

Все это позволяет использовать полученные зависимости для определения механических напряжений по коэрцитивной силе. Скачок значений H_c , наблюдаемый на рис. 3 для всех сталей, соответствует площадке текучести на диаграмме растяжения, т. е. пределу текучести σ_T .

В отношении большинства объектов наземной космической инфраструктуры остро стоит проблема определения остаточного ресурса несущих металлоконструкций при продлении их срока эксплуатации.

Эксплуатационные дефекты обычно возникают и зарождаются на завершающей стадии «жизни» металла, тогда как предваряющие эту стадию усталостные изменения развиваются и накапливаются долго и постепенно, причем в течение самого продуктивного этапа эксплуатации. Указанные процессы идут с явным опережением в зонах концентрации напряжений. Сами эти зоны по размерам велики, их местонахождение хорошо известно уже при конструировании оборудования. Поэтому усталостные изменения существенно проще выявлять и легче измерять, но при условии, что найден эффективный параметр контроля. К тому же, при такой постановке задачи момент зарождения эксплуатационных дефектов упреждается, что также немаловажно с точки зрения стратегических принципов и акцентов диагностики. Очевидно, что аварии оборудования всегда легче и дешевле предупредить, чем ликвидировать.

Для эксплуатационного контроля в целях получения количественной и качественной оценки усталостных изменений, включая оценку остаточного ресурса оборудования, из всех магнитных характеристик наиболее пригодным параметром является коэрцитивная сила H_c [2]. Методика магнитной диагностики основывается на корреляционных зависимостях между физико-механическими свойствами ферромагнитных материалов и значением коэрцитивной силы H_c (А/см), контролируемой при статических и усталостных испытаниях на всех стадиях нагружения, вплоть до разрушения.

Теоретические исследования на основе энергетического подхода к анализу намагничивания металла, упругопластической деформации, накопления повреждений и роста коэрцитивной силы позволяют моделировать на образцах процесс нагружения металла при эксплуатации в условиях сложнонапряженного состояния.

В сочетании с натурными испытаниями метод подобия позволяет определить базовые параметры для контроля состояния металла по значениям коэрцитивной силы, соответствующим пределу текучести, пределу прочности и пределу выносливости с учетом анизотропии механических свойств сталей и сплавов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для общей оценки состояния металлоконструкций объектов наземной космической инфраструктуры при обследовании и техническом диагностировании достаточно проанализировать распределение значений H_c (А/см), выявить наиболее нагруженные элементы (H_{cmax}) и сравнить эти значения со значениями, соответствующими пределам текучести и прочности для марки стали, из которой изготовлены несущие элементы. Сопоставив средние H_c и максимальные H_{cmax} значения коэрцитивной силы с экспериментально полученными усталостными номограммами для соответствующих режимов нагружения и марки стали, можно сделать вывод о реальном остаточном ресурсе металлической силовой конструкции объектов наземной космической инфраструктуры.

Список используемых источников

1. *Полупан А.В.* Диагностирование технических объектов. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 294 с.
2. *Бакунов А.С., Горкунов Э.С., Щербинин В.Е.* Магнитный контроль: учеб. пособие. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 192 с.
3. *Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В.* Неразрушающий контроль и диагностика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с.

В.А. Гончаренко,
кандидат техн. наук, доцент

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ

Изложен метод обоснования производительности вычислительных систем реального времени при заданных стохастических параметрах рабочей нагрузки. Показано, что наличие дополнительной неопределенности параметров, вызванной возмущающими факторами или неполными знаниями, может существенно повлиять на оценку потребной производительности.

Ключевые слова: информационно-вычислительная система, требуемая производительность, неопределенность параметров, директивное время обслуживания.

ВВЕДЕНИЕ

Производительность является одним из основных свойств системы, характеризующим объем работы, который может быть выполнен системой за определенный промежуток времени. Разработка требований к производительности информационно-вычислительных систем (ИВС) реального времени является одним из основных этапов обоснования общих требований к ИВС при их проектировании и модернизации. Данные требования определяются в зависимости от планируемой рабочей нагрузки ИВС и от требований к качеству ее обработки.

Спецификой функционирования рассматриваемых ИВС является обработка информации в реальном масштабе времени, когда имеются ограничения на допустимое время обработки информации об объектах. Превышение времени обработки информации над директивным временем приводит к потере задания или резкому снижению его ценности, когда дальнейшее его обслуживание теряет смысл. Качество функционирования ИВС в этом случае характеризуется вероятностью отсутствия потерь заданий из-за превышения времени их обработки. Поскольку допустимое время пребывания заданий на обслуживании определяется динамикой развития внешних процессов, то требования к производительности ИВС можно определить, исходя из параметров входного потока и алгоритмов обработки информации.

Основные характеристики производительности системы измеряются в терминах *реактивности* (времени реакции) или *продуктивности* (пропускной способности).

Производительность вычислительной системы в терминах показателей продуктивности определяется количеством вычислительной работы, выполняемой системой в единицу времени. В этом аспекте задача определения производительности ИВС решалась в работе [1], где в качестве исходных данных выступали объем вычислений и время выполнения этих вычислений.

В статье [2] на основе данных о рабочей нагрузке, а также в зависимости от ограничений на время ожидания обслуживания, определяется минимально необходимая производительность различных систем обработки информации.

В публикации [3] была определена производительность вычислительного комплекса, обслуживающего рабочую нагрузку от нескольких объектов, состоящую из групп задач, сдвинутых друг относительно друга на некоторое время. При этом исходные данные могут быть заданы в форме начальных моментов распределений объема и времени вычислений.

Обратные задачи обоснования требуемой производительности узлов сети в терминах реактивности решались в работе [4].

В статье рассматривается вопрос об учете реальных возмущений и неопределенности параметров рабочей нагрузки при определении требуемой производительности ИВС для различных исходных распределений.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИВС, ОБСЛУЖИВАЮЩЕЙ ЗАДАННУЮ РАБОЧУЮ НАГРУЗКУ

Рассмотрим следующую модель обработки информации [5]. Пусть ИВС обрабатывает в реальном масштабе времени входной поток заданий, интервалы времени между которыми распределены с плотностью $a(t)$. Каждое задание инициирует соответствующую ветвь комплексного алгоритма обработки информации, трудоемкость Θ реализации которого на потоке входных заданий случайна и распределена с плотностью $f_1(\Theta)$. Момент окончания обработки каждого задания ограничен директивным сроком t_d , в общем случае также случайным. Необходимо определить значение требуемой производительности ИВС, обеспечивающей обработку входной информации в реальном масштабе времени с вероятностью отсутствия потерь не меньше $Q_{тр}$.

Моменты поступления заданий на обслуживание t_i образуют случайную последовательность событий (рис. 1), где τ_i – интервал между i -м и $i+1$ -м заданием. Директивные сроки окончания обслуживания заданий $t_{д,i}$ также представляют собой случайную последовательность событий, сдвинутых относительно моментов t_i на случайное значение

$$\tau_{д,i} = t_{д,i} - t_i. \tag{1}$$

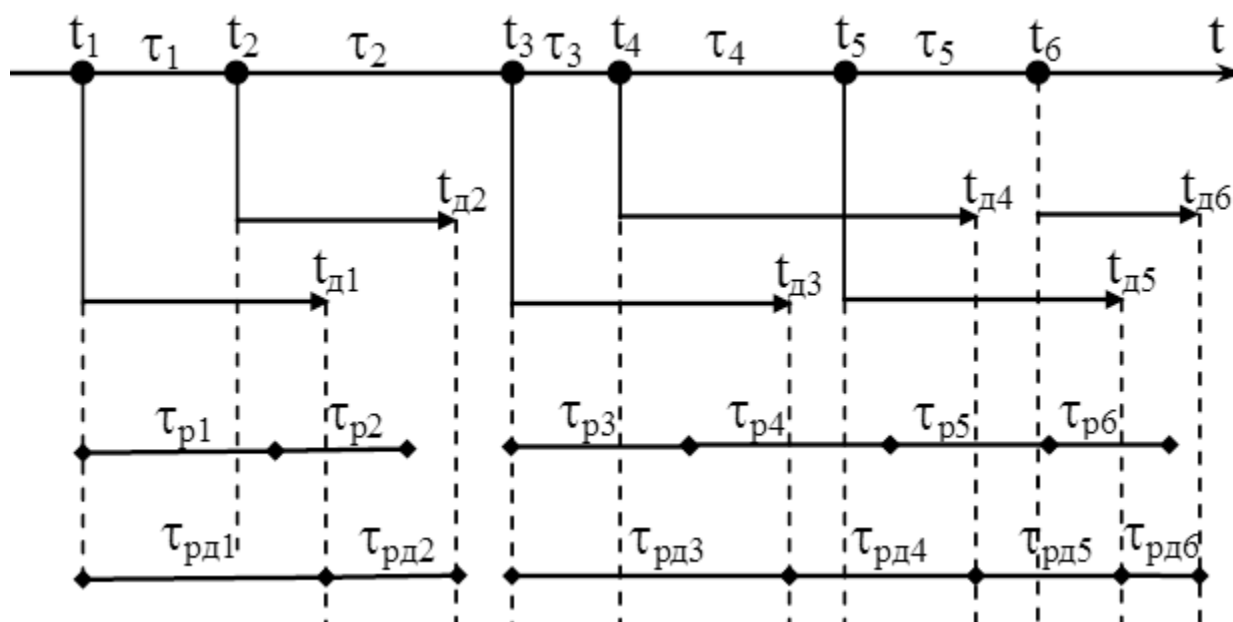


Рис. 1. Временная диаграмма процесса обслуживания заданий

При этом, моменты $t_{д,i}$ определяются динамическими процессами, происходящими за пределами ИВС (например, спецификой объектов управления). Будем полагать, что ИВС обслуживает рабочую нагрузку в реальном времени, если время пребывания заданий в ИВС $\tau_{п,i} = t_{об,i} - t_i$ удовлетворяет условию

$$\tau_{п,i} \leq \tau_{д,i}.$$

Допустимое время непосредственного обслуживания очередного i -го задания $\tau_{рд,i}$ определяется директивным сроком $t_{д,i}$, моментом поступления в ИВС t_i и моментом окончания обслуживания предыдущего задания $t_{об,i-1}$:

$$\tau_{рд,i} = t_{д,i} - \max(t_{об,i-1}, t_i). \tag{2}$$

Подставляя выражение (1) в формулу (2), получим

$$\tau_{рд,i} = \tau_{д,i} - \max(\tau_{п,i-1} - \tau_i, 0).$$

Однако, время пребывания $\tau_{п,i}$ может принимать любое значение до $\tau_{д,i}$ включительно без потери задания, поэтому требования к $\tau_{рд,i}$ по совокупности должны быть более жесткими (см. рис. 1):

$$\tau_{рд,i} = \tau_{д,i} - \max(\tau_{д,i-1} - \tau_i, 0). \quad (3)$$

Реальное время решения задания $t_{р,i}$ должно удовлетворять неравенству

$$\tau_{р,i} \leq \tau_{рд,i}.$$

Если это условие выполняется, а трудоемкость i -го задания Θ_i меньше объема работы, который может выполнить ИВС за $\tau_{р,i}$ при полной ее загрузке, то вероятность отсутствия потерь i -го задания $\Theta_i=1$, в противном случае $\Theta_i=0$. Для n заданий, поступивших на обработку в ИВС, значение вероятности отсутствия потерь определяется как

$$F_n(\tau_{рд}, \Theta) = [\Theta_1 + \Theta_2 + \dots + \Theta_n]/n,$$

т. е. как доля обслуженных в директивные сроки заданий из n поступивших. Пригодным является любая ИВС, обеспечивающая $F_n(\tau_{рд}, \Theta)$ не меньше некоторого значения $Q_{тр}$:

$$F_n(\tau_{рд}, \Theta) \geq Q_{тр}.$$

В установленном режиме имеем:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F_n(\tau_{рд}, \Theta) = F(\tau_{рд}, \Theta),$$

где $F(\tau_{рд}, \Theta)$ – совместная функция распределения случайных величин $\tau_{рд}$ и Θ .

Для нахождения значения производительности, обеспечивающей выполнение условий отсутствия потерь заданий с вероятностью, не ниже заданной $Q_{тр}$, воспользуемся следующим соотношением

$$F(L_{тр}) \geq Q_{тр},$$

где $F(L)$ – функция распределения вероятности того, что производительность ИВС не превысит значения L ,

$L_{тр}$ – требуемая производительность.

$F(L)$ определяется формулой

$$F(L) = \int_0^{\infty} \int_{D(L)} f(\tau_{рд}, \Theta) d\tau_{рд} d\Theta,$$

где $D(L) = \Theta/L$, $f(\tau_{рд}, \Theta)$ – плотность распределения системы случайных величин $\tau_{рд}$ и Θ .

Выполняя преобразования и обозначив плотность распределения директивного времени обслуживания $f_2(\tau_{рд})$, получим:

$$F(L) = \int_0^{\infty} f_2(\tau_{рд}) \cdot f_1(L\tau_{рд}) \cdot \tau_{рд} d\tau_{рд} = \int_0^{\infty} \frac{\Theta}{L^2} \cdot f_2(\Theta/L) \cdot f_1(\Theta) d\Theta.$$

Зная распределение директивного времени решения задач и распределение трудоемкости, можно построить зависимость $F(L)$. Так, если директивный срок окончания обслуживания задания определяется моментом поступления следующего задания: $t_{д,i} = t_{i+1}$, тогда, согласно (1) и (3), получим: $\tau_{рд,i} = \tau_{i+1}$. Это значит, что $f_2(\tau_{рд})$ определяется плотностью распределения входящего потока $a(t)$.

Требуемую производительность можно определить по методу обратных функций, если вид $F(L)$ не сложен, либо численно или графически для более сложных функциональных зависимостей.

Рассмотрим конкретные примеры.

Пример 1. Пусть трудоемкость заданий и время между заданиями являются детерминированными величинами, тогда их плотности задаются дельта-функцией Дирака (единичной импульсной функцией):

$$f_1(\Theta) = \delta(\Theta - \Theta_{ср}); a(t) = \delta(t - 1/\lambda).$$

Функция распределения требуемой производительности будет представлять собой функцию Хевисайда (единичную ступенчатую функцию) $\mathbf{1}(x)$, принимающую нулевое значение при $L < \lambda \Theta_{\text{ср}}$ и единичное значение при $L \geq \lambda \Theta_{\text{ср}}$:

$$F(L) = \mathbf{1}(L - \lambda \Theta_{\text{ср}}).$$

Требуемая производительность будет определяться неравенством: $L_{\text{тр}} \geq \lambda \Theta_{\text{ср}}$.

Пример 2. При $f_1(\Theta) = \exp(-\Theta/\Theta_{\text{ср}})/\Theta_{\text{ср}}$ и $a(t) = \delta(t - 1/\lambda)$ ФР требуемой производительности

$$F(L) = 1 - \exp(-L/\lambda \Theta_{\text{ср}}).$$

Требуемая производительность определится так: $L_{\text{тр}} \geq -\lambda \Theta_{\text{ср}} \ln(1 - Q_{\text{тр}})$.

Пример 3. При обратной ситуации, когда $f_1(\Theta) = \delta(\Theta - \Theta_{\text{ср}})$ и $a(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, получим

$$F(L) = \exp(-\lambda \Theta_{\text{ср}}/L).$$

Требования к производительности будет определяться выражением: $L_{\text{тр}} \geq -\lambda \Theta_{\text{ср}} / \ln Q_{\text{тр}}$.

Пример 4. При экспоненциальных законах распределений $f_1(\Theta) = \exp(-\Theta/\Theta_{\text{ср}})/\Theta_{\text{ср}}$ и $a(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ФР требуемой производительности будет представлять рациональную дробь:

$$F(L) = L/(L + \lambda \Theta_{\text{ср}}).$$

Требуемая производительность определится неравенством: $L_{\text{тр}} \geq \lambda \Theta_{\text{ср}} Q_{\text{тр}} / (1 - Q_{\text{тр}})$.

На рис. 2 для этих случаев приведены графики функции распределения $F(L)$ требуемой производительности ИВС. Значения параметров выбирались из условия: $\lambda = 2000$ заданий в секунду, $\Theta_{\text{ср}} = 10$ миллионов операций на обработку одного задания.

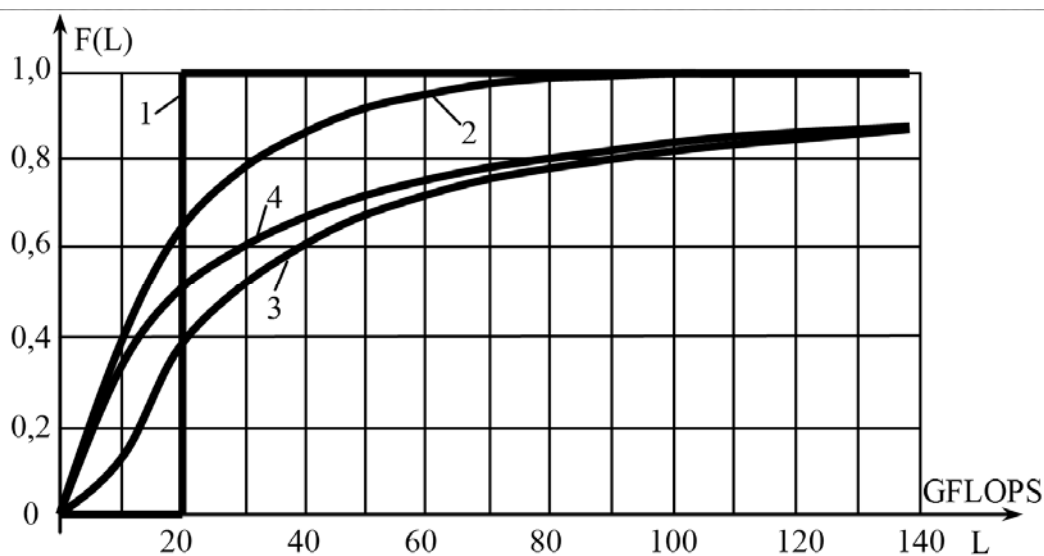


Рис. 2. Функция распределения требуемой производительности

Как видно из графиков, требования к ИВС по производительности существенно зависят от распределений входных потоков $a(t)$ и распределений трудоемкостей алгоритмов их обработки $f_1(\Theta)$, причем в гораздо большей степени от $a(t)$.

При вероятности отсутствия потерь $Q_{\text{тр}} = 0.9$ требуемые производительности ИВС соответственно составят: 1) 20 миллиардов операций с плавающей точкой в секунду (GFLOPS), 2) 46 GFLOPS, 3) 190 GFLOPS, 4) 180 GFLOPS. При вероятности отсутствия потерь $Q_{\text{тр}} = 0.95$ получим: 1) 20 GFLOPS, 2) 60 GFLOPS, 3) 390 GFLOPS, 4) 380 GFLOPS.

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ

В условиях проектирования и модернизации характер изменения и объем рабочей нагрузки ИВС зачастую определены недостаточно. Кроме того, необходимо учитывать возможные

возмущающие воздействия, существенно изменяющие рабочую нагрузку. Поэтому актуальной является задача обоснования требуемой производительности с учетом факторов неопределенности исходных данных [6, 7].

Исследуем ниже влияние интервальной неопределенности параметров рабочей нагрузки на характеристики производительности ИВС. Для этого используем формальный аппарат представления случайных процессов с неопределенностью [8, 9]. Пусть параметр λ является неопределенным и задан диапазоном возможных значений – $[a, b]$. Допуская равновероятность значений λ в этом диапазоне, используем для задания случайного λ равномерное распределение:

$$h(\lambda) = \frac{1(\lambda - a) \cdot 1(b - \lambda)}{b - a}.$$

Тогда функция распределения требуемой производительности будет представлять собой функцию случайного аргумента (ФСА) $\hat{\lambda}$. Математическое ожидание этой ФСА есть не что иное, как функция распределения, усредненная по параметру $\hat{\lambda}$ [9]:

$$M[F(L, \hat{\lambda})] = F_{cp}(L) = \int_0^{\infty} F(L, \hat{\lambda} | \lambda) h(\lambda) d\lambda.$$

Для рассмотренных выше примеров можно получить выражения для интегрированных по λ функций распределения требуемой производительности:

1. $F(L) = (L - a\Theta_{cp}) / (\Theta_{cp}(b - a))$, при $a\Theta_{cp} < L < b\Theta_{cp}$;
2. $F(L) = 1 - \frac{L}{\Theta_{cp}(b - a)} \left(E_i \left(1, \frac{L}{a\Theta_{cp}} \right) - E_i \left(1, \frac{L}{b\Theta_{cp}} \right) \right) + ae^{-\frac{L}{a\Theta_{cp}}} - be^{-\frac{L}{b\Theta_{cp}}}$,

где E_i – интегральная показательная функция.

3. $F(L) = \frac{L \cdot (e^{-a\Theta_{cp}/L} - e^{-b\Theta_{cp}/L})}{\Theta_{cp}(b - a)}$;
4. $F(L) = \frac{L}{\Theta_{cp}(b - a)} \cdot \ln \frac{b\Theta_{cp} + L}{a\Theta_{cp} + L}$.

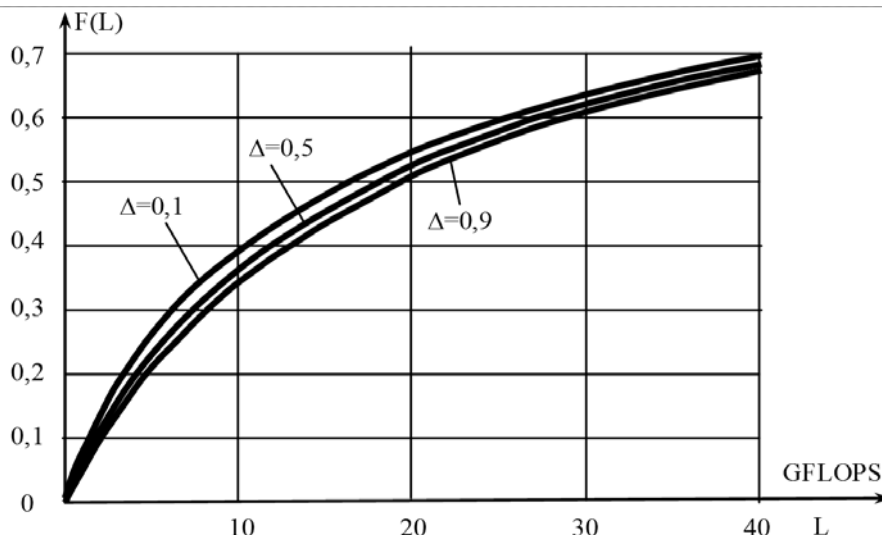


Рис. 3. Зависимость $F(L)$ при различных степенях неопределенности исходных данных

При увеличении неопределенности параметра λ оценки требуемой производительности становятся более пессимистичными. Для выражения уровня неопределенности в условных единицах использовался коэффициент неопределенности $\Delta = (b - a) / (b + a)$, $0 \leq \Delta \leq 1$.

Аналогичные, но менее выраженные результаты можно получить при интервальной неопределенности средней трудоемкости заданий. Очевидно, что неопределенность параметров рабочей нагрузки может существенно повлиять на оценки требуемой производительности при ее обосновании.

На рис. 3 представлены зависимости $F(L)$ для 4 примера при различных коэффициентах неопределенности рабочей нагрузки. Так, для $Q_{\text{тр}} = 0,95$ требуемая производительность будет составлять 428 GFLOPS при $\Delta = 0,5$ и 633 GFLOPS при $\Delta = 0,9$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассматривая вопросы обоснования производительности ИВС реального времени, недостаточно оценить среднее значение требуемой производительности – необходимо исходить из удовлетворения требований по оперативности обработки каждой конкретной задачи, которые могут быть заданы с помощью требуемой вероятности отсутствия потерь задач из-за превышения срока их обработки. При этом необходимо учитывать как характер рабочей нагрузки, так и реально существующую неопределенность исходных данных. Наличие случайных отклонений параметров системы приводит не только к случайным отклонениям результирующих характеристик системы от среднего, но и к изменению самого этого среднего [9]. Обоснование требований к характеристикам проектируемых информационно-вычислительных систем реального времени в условиях неопределенности параметров (в том числе действия возмущающих факторов) приводит к существенно более жестким оценкам данных характеристик.

Список используемых источников

1. Голубев-Новожилов Ю.С. Многомашинные комплексы вычислительных средств. – М.: Советское радио, 1967. – 324 с.
2. Путятин В.П., Назарук А.И. Модель оценки производительности объединенной вычислительной системы // Электронное моделирование. – 1991. – Т. 13, № 4. – С. 72–76.
3. Смагин В.А., Шурыгин Е.М. К оценке производительности вычислительных комплексов, обслуживающих несколько объектов // Известия вузов. Приборостроение. – 1993. – № 2. – С. 33–38.
4. Смагин В.А., Екимцов А.Н. Обоснование требований к вычислительной сети в форме начальных моментов произвольной плотности // Известия вузов. Приборостроение. – 1993. – № 2. – С. 4–7.
5. Гончаренко В.А. Обоснование производительности информационно-вычислительных систем реального времени на предпроектном этапе // Сборник молодых ученых. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. – 2004. – С. 167–178.
6. Гончаренко В.А., Смагин В.А. О влиянии неопределенности параметров распределений на характеристики узла сети // Известия вузов. Приборостроение. – 1993. – № 7–8. – С. 39–45.
7. Гончаренко В.А. Анализ реактивности узла вычислительной сети в условиях интервальной неопределенности // Известия вузов. Приборостроение. – 2008. – № 7. – С. 34–39.
8. Гончаренко В.А. Формальный аппарат описания моделей случайных процессов обслуживания с параметрической неопределенностью // Сборник молодых ученых. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. – С. 179–190.
9. Гончаренко В.А. К оценке характеристик случайных потоков со случайно распределенными параметрами // Сборник молодых ученых. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. – С. 157–166.

В.И. Горбулин,
доктор техн. наук, профессор;
Н.В. Радионов,
доктор экономических наук;
Д.Л. Каргу,
кандидат техн. наук;
П.А. Комаров;
Н.Н. Астахов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЗАСВЕТКИ ТЕСТОВЫХ БЛОКОВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

В настоящей статье рассмотрен подход к определению ориентации КА по интенсивности засветки микроблоков панелей солнечных батарей. Проанализирован способ использования штатных элементов солнечной батареи для его угловой ориентации. Разработано теоретическое обоснование способа модернизации элемента СБ для реализации функций датчика ориентации, предложена его программно-аппаратная реализация.

Ключевые слова: солнечная батарея, ориентация космического аппарата, комплекс автоматики и стабилизации, угловое расстояние, космический аппарат.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время существует множество приборов на борту космического аппарата для его ориентации относительно Земли или Солнца. Но, как известно, массогабаритные характеристики КА ограничены, и установка на нем дополнительного оборудования сводится к минимуму, в связи с этим предлагается реализация функций датчика ориентации штатными элементами солнечных батарей.

Пусть на КА, имеющем форму шара, по касательным плоскостям к поверхности установлены тестовые микроблоки панелей солнечных батарей (МПСБ). Для простоты рассматривается расположение микроблоков в «горизонтальной» плоскости (ГП) связанной системы координат КА (ССК) $Ox_1 Y_1$ по кругу на равных угловых расстояниях $\Delta\gamma$.

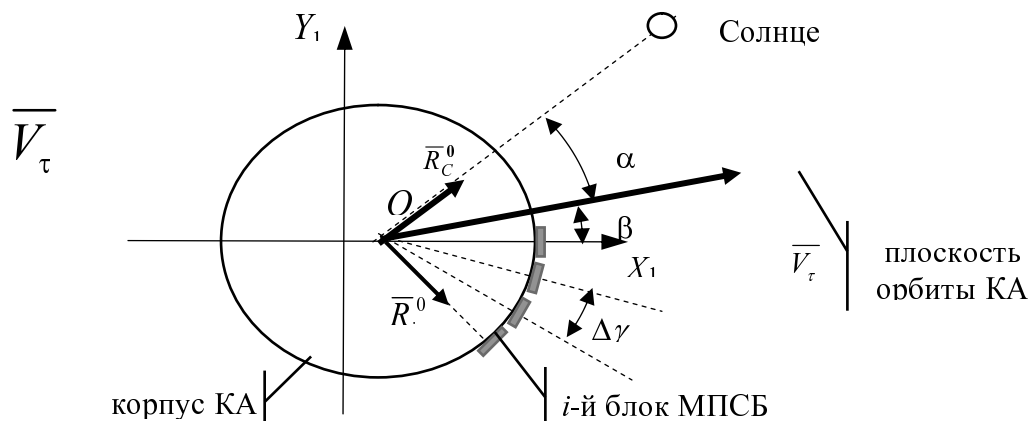


Рис. 1. Расположение КА и Солнца относительно плоскости орбиты

Пусть с помощью программных средств определено, что центр видимого диска Солнца ориентирован под углом α к плоскости орбиты КА по направлению его движения, а плоскость ГП стабилизирована в плоскости, образованной векторами направления на Солнце \bar{R}_c и трансверсальной скорости КА \bar{V}_r . Геометрическая интерпретация данных условий представлена на рис. 1.

Определение ориентации КА в данных условиях связано с расчетом угла β между плоскостью орбиты КА и направлением связанной оси X_1 .

Предлагается данный угол определять исходя из математического условия:

$$\bar{R}_i^0 \cdot \bar{R}_C^0 = \cos(\alpha + \beta + \gamma_i); \gamma_i = i \cdot \Delta\gamma, \quad (1)$$

где \bar{R}_i^0 – орт направления на i -й блок МПСБ из центра масс КА O ;
 \bar{R}_C^0 – орт направления на Солнце из центра масс КА O .

Условие (1) подразумевает поток параллельных солнечных лучей в форме цилиндрической трубки, диаметр которой соответствует диаметру КА.

Нетрудно заметить, что для определения угла β можно воспользоваться известной зависимостью тока $I_i^{МПСБ}$ на выходе i -го блока МПСБ от направления на Солнце

$$I_i^{МПСБ} = I_i^{МПСБ} [\cos(\alpha + \beta + \gamma_i)].$$

Вычислить значение угла β было бы легко, если бы можно было измерить ток $I_{i(измер)}$ для любого (или хотя бы одного i -го) из блоков МПСБ. В этом случае достаточно воспользоваться обратной зависимостью и вычислить

$$\beta = \arccos\left\{ \left[I_i^{МПСБ} \right]^{-1} \left(I_{i(измер)} \right) \right\} - \alpha - \gamma_i.$$

Однако на практике точные измерения $I_{i(измер)}$ существенно затруднены и даже невозможны. Вместо этого можно применить подход обработки сигналов засветки МПСБ.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Очевидно, что для множества Ω_3 номеров засвеченных блоков МПСБ выполняется условие:

$$\cos(\alpha + \beta + \gamma_i) \geq 0, \quad i \in \Omega_3.$$

Для множества Ω_{H3} номеров незасвеченных блоков выполняется условие:

$$\cos(\alpha + \beta + \gamma_j) < 0, \quad j \in \Omega_{H3}.$$

При правдоподобной оценке угла β величина

$$J(\beta) = \sum_{i \in \Omega_3} (\cos(\alpha + \beta + \gamma_i) - 1)^2 + \sum_{j \in \Omega_{H3}} (\cos(\alpha + \beta + \gamma_j) + 1)^2$$

должна стремиться к минимуму.

На основании этого утверждения, с учетом разложения косинусов

$$\cos(\alpha + \beta + \gamma_i) = \cos(\alpha + \gamma_i) \cdot \cos \beta - \sin(\alpha + \gamma_i) \cdot \sin \beta$$

можно поставить и решить следующую задачу нелинейного программирования:

$$J(\beta) = \sum_{i \in \Omega_3} (\cos(\alpha + \gamma_i) \cdot x_1 - \sin(\alpha + \gamma_i) \cdot x_2 - 1)^2 + \sum_{j \in \Omega_{H3}} (\cos(\alpha + \gamma_j) \cdot x_1 - \sin(\alpha + \gamma_j) \cdot x_2 + 1)^2 \rightarrow \min_{x_1, x_2}$$

при условии $x_1^2 + x_2^2 = 1$, где $x_1 = \cos \beta$; $x_2 = \sin \beta$.

Данная задача относится к классу задач с изопериметрическими ограничениями. Поэтому для ее решения можно воспользоваться методом неопределенных множителей Лагранжа.

Лагранжиан в задаче принимает следующий вид:

$$\Lambda(x_1, x_2, \lambda) = \sum_{i \in \Omega_3} (\cos(\alpha + \gamma_i) \cdot x_1 - \sin(\alpha + \gamma_i) \cdot x_2 - 1)^2 + \sum_{j \in \Omega_{H3}} (\cos(\alpha + \gamma_j) \cdot x_1 - \sin(\alpha + \gamma_j) \cdot x_2 + 1)^2 - \lambda \cdot (x_1^2 + x_2^2 - 1).$$

После дифференцирования по независимым переменным x_1, x_2, λ получается система нелинейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} & \left(\sum_{i \in \Omega_3} \cos^2(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \cos^2(\alpha + \gamma_j) \right) \cdot x_1 - \lambda \cdot x_1 - \\ & - \left(\sum_{i \in \Omega_3} \sin(\alpha + \gamma_i) \cdot \cos(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin(\alpha + \gamma_j) \cdot \cos(\alpha + \gamma_j) \right) \cdot x_2 = \\ & = \sum_{i \in \Omega_3} \cos(\alpha + \gamma_i) - \sum_{j \in \Omega_{H3}} \cos(\alpha + \gamma_j); \\ & - \left(\sum_{i \in \Omega_3} \sin(\alpha + \gamma_i) \cdot \cos(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin(\alpha + \gamma_j) \cdot \cos(\alpha + \gamma_j) \right) \cdot x_1 + \\ & + \left(\sum_{i \in \Omega_3} \sin^2(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin^2(\alpha + \gamma_j) \right) \cdot x_2 - \lambda \cdot x_2 = \\ & = \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin(\alpha + \gamma_j) - \sum_{i \in \Omega_3} \sin(\alpha + \gamma_i); \\ & x_1^2 + x_2^2 = 1. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Если ввести обозначения для известных коэффициентов:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in \Omega_3} \cos^2(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \cos^2(\alpha + \gamma_j) &= A_1; \\ - \left(\sum_{i \in \Omega_3} \sin(\alpha + \gamma_i) \cdot \cos(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin(\alpha + \gamma_j) \cdot \cos(\alpha + \gamma_j) \right) &= A_2; \\ - \left(\sum_{i \in \Omega_3} \sin(\alpha + \gamma_i) \cdot \cos(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin(\alpha + \gamma_j) \cdot \cos(\alpha + \gamma_j) \right) &= B_1 \\ \sum_{i \in \Omega_3} \sin^2(\alpha + \gamma_i) + \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin^2(\alpha + \gamma_j) &= B_2; & \sum_{i \in \Omega_3} \cos(\alpha + \gamma_i) - \sum_{j \in \Omega_{H3}} \cos(\alpha + \gamma_j) &= C_1; \\ \sum_{j \in \Omega_{H3}} \sin(\alpha + \gamma_j) - \sum_{i \in \Omega_3} \sin(\alpha + \gamma_i) &= C_2, \end{aligned}$$

то систему (2) можно представить в более простом виде:

$$\left. \begin{aligned} (A_1 - \lambda) \cdot x_1 + B_1 \cdot x_2 &= C_1; \\ A_2 \cdot x_1 + (B_2 - \lambda) \cdot x_2 &= C_2; \\ x_1^2 + x_2^2 &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Из первых двух уравнений легко получить функции $x_1(\lambda), x_2(\lambda)$, применяя правило Крамера для решения линейных уравнений:

$$x_1 = \frac{C_1 \cdot (B_2 - \lambda) - C_2 \cdot B_1}{(A_1 - \lambda) \cdot (B_2 - \lambda) - A_2 \cdot B_1}; \quad x_2 = \frac{C_2 \cdot (A_1 - \lambda) - C_1 \cdot A_2}{(A_1 - \lambda) \cdot (B_2 - \lambda) - A_2 \cdot B_1}. \quad (4)$$

После подстановки этих выражений в третье уравнение системы (3) получается уравнение 4-й степени относительно переменной λ :

$$\lambda^4 - 2 \cdot (A_1 + B_2) \cdot \lambda^3 + \left[(A_1 + B_2)^2 + 2 \cdot (A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1) - C_1^2 - C_2^2 \right] \cdot \lambda^2 - 2 \cdot \left((B_2^2 - C_2^2 - A_2 \cdot B_1) \cdot A_1 + (A_1^2 - C_1^2 - A_2 \cdot B_1) \cdot B_2 + C_1 \cdot C_2 \cdot (A_2 + B_1) \right) \cdot \lambda + (A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1)^2 - (B_1 \cdot C_2 - B_2 \cdot C_1)^2 - (C_1 \cdot A_2 - C_2 \cdot A_1)^2 = 0. \quad (5)$$

Очевидно, что контроль выбора корня этого уравнения можно обеспечить для действительных его корней после вычисления значений по формулам (4) и выполнения условий $|x_1| \leq 1$ и $|x_2| \leq 1$.

Искомая величина угла ориентации для выбранных по указанной схеме значений x_1^* и x_2^* вычисляется по формуле

$$\beta = \text{arctg} \frac{x_2^*}{x_1^*}.$$

ПРИМЕР ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДАТЧИКА ЗАСВЕТКИ

В качестве примера аппаратной реализации рассмотренного выше подхода можно предложить следующую схему индикации засветки МПСБ (рис. 2), позволяющую определения множеств Ω_3 и $\Omega_{НЗ}$.

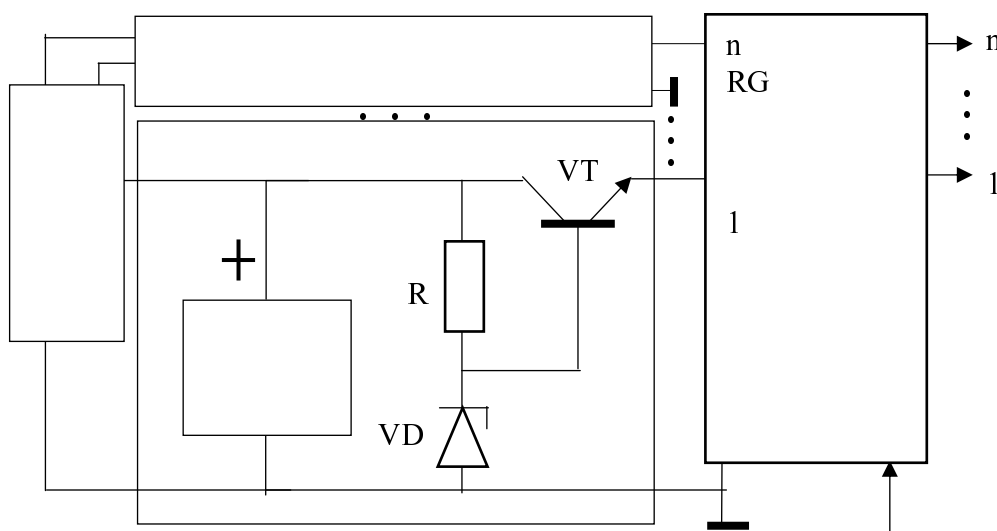


Рис. 2. Схема индикации засветки МПСБ

Для этого в традиционную схему солнечной батареи, состоящую из n фотопреобразователей, подключенных к комплексу автоматики и стабилизации (КАС), включается n схем стабилизированных ключей. Каждый такой ключ состоит из транзистора VT, на базу которого подается сигнал с делителя напряжения, образованного резистором R и стабилитроном VD. Стабилитрон VD подбирается таким образом, чтобы транзистор VT открывался при превышении порогового тока фотопреобразователя, достаточного для занесения информационного значения единичного уровня в разряд регистра RG.

Работа предложенной схемы заключается в том, что блоки МПСБ совместно с КАС постоянно обеспечивают для систем КА выработку электроэнергии требуемого качества.

При этом по сигналам, поступающим на вход управления СТЛ, в регистре RG с помощью стабилизированных ключей R-VD-VT запоминается n -мерное информационное слово E_n . Разряды этого слова имеют смысл индикаторов принадлежности блоков МПСБ к множествам Ω_3 и $\Omega_{НЗ}$.

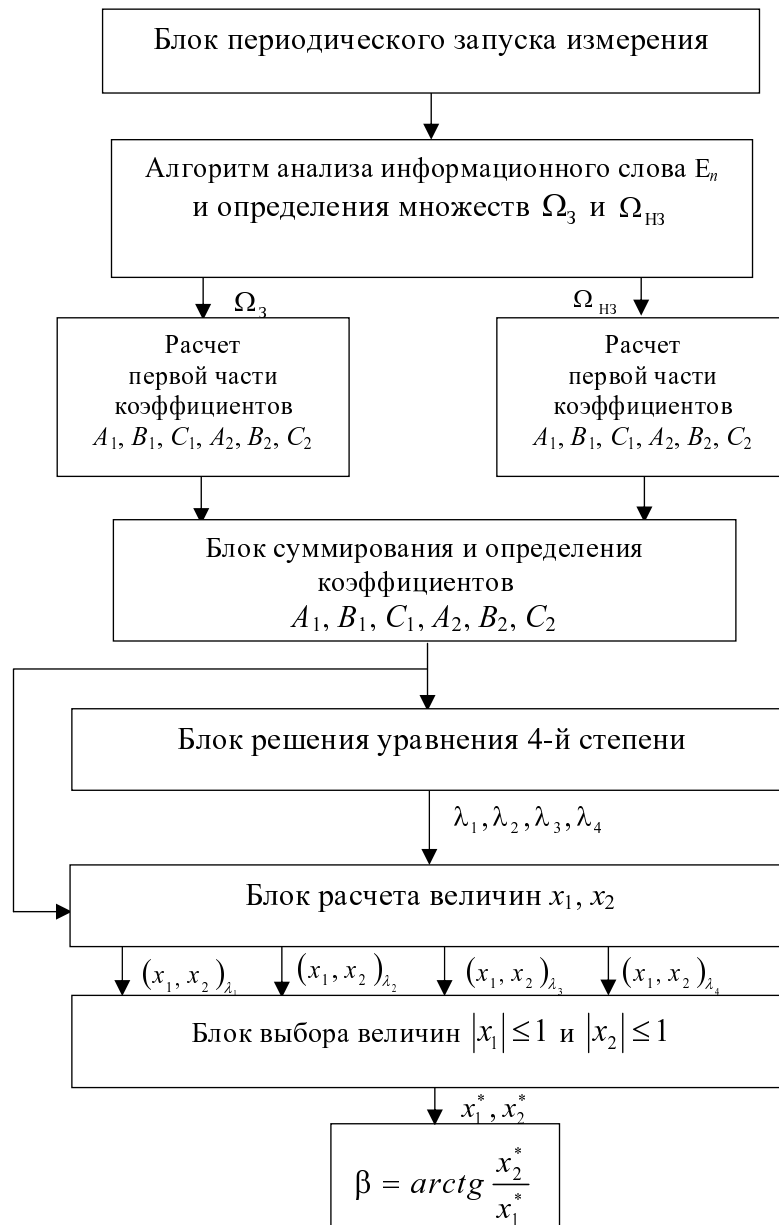


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета угла ориентации связанной оси КА относительно орбитальной системы координат

Если разряд $(E_n)_i = 1$, то i -й блок МПСБ следует отнести к множеству Ω_3 . В противном случае при нулевом значении разряда $(E_n)_i = 0$ i -й блок МПСБ следует отнести к множеству Ω_{H3} .

Частота подачи управляющего сигнала на вход CTL регистра RG зависит от требований информационного обеспечения системы управления КА и ограничена временем расчета программных элементов алгоритма, представленного на следующей блок-схеме (см. рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, помимо штатной эксплуатации бортовой системы электроснабжения (генерирования электроэнергии) СЭС КА также дает возможность определить ориентацию КА по измерениям засветки тестовых блоков солнечных батарей.

Данный алгоритм может быть реализован аппаратно на базе современных микроконтроллеров с RISC-архитектурой (например, фирмы AMTEL).

С.В. Логунов;
В.О. Королев;
кандидат техн. наук, доцент;
Д.В. Фролов;
кандидат техн. наук;
Р.А. Гудаев

МЕТОД ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ВРАЩАЮЩИХСЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрен метод обработки результатов спектрофотометрических измерений геостационарных космических аппаратов для определения их конструктивных особенностей на основе анализа двухцветных диаграмм. Размер двухцветных диаграмм определяется значениями спектральных характеристик космических объектов и материалов, нанесенных на нее. Выявление материалов конструкции наблюдаемого геостационарного космического аппарата, для которого предварительно определен период вращения, осуществляется по алгоритму минимума расстояний, а для космического аппарата, стабилизированного по трем осям, алгоритмом ближайших соседей.

Ключевые слова: спектрофотометрия, геостационарный космический аппарат, космический объект, показатель цвета.

В данной статье задача обработки максимального массива спектрофотометрических измерений различных космических аппаратов (КА) не ставилась, поэтому были выбраны наиболее показательные результаты многоцветных фотометрических наблюдений геостационарных космических аппаратов (ГСКА), отработавших свой ресурс и находящихся в либрационном состоянии. Фиксируемые вариации блеска ГСКА в различных спектральных интервалах обусловлены тремя основными причинами:

- собственным вращением КА вокруг центра масс и прецессией его оси вращения;
- обращением КА вокруг Земли или изменением фазового угла φ (угол между Солнцем – КА-наблюдателем);
- временными изменениями спектральных характеристик, связанными с деградацией материалов покрытий и конструктивных элементов.

На рис. 1 и 2 представлены вариации блеска ГСКА № 1 и № 2 в спектральных полосах B , V и R , реализующих фотометрическую систему Джонсона [4].

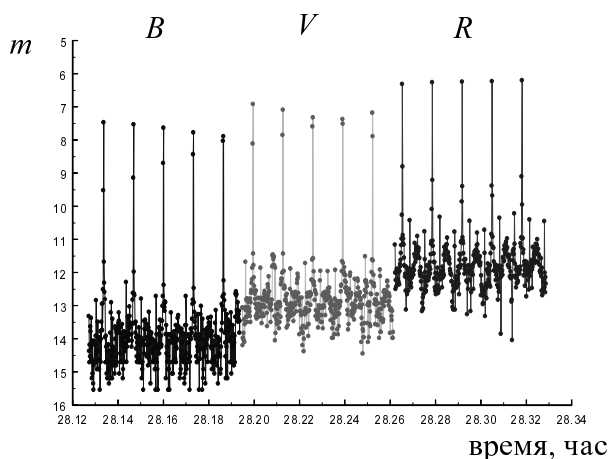


Рис. 1. Интенсивность блеска ГСКА № 1 в световых фильтрах B , V и R

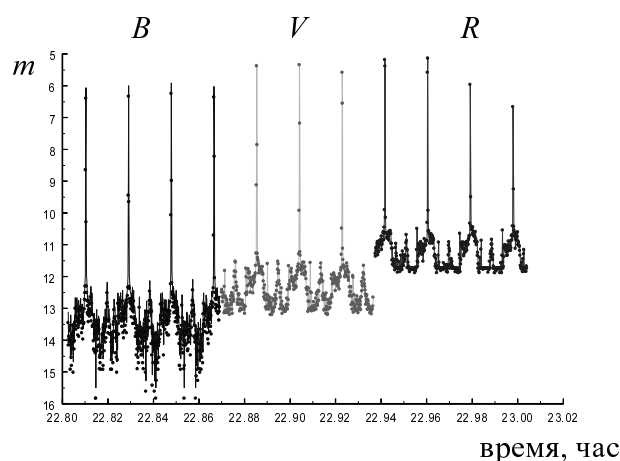


Рис. 2. Интенсивность блеска ГСКА № 2 в световых фильтрах B , V и R

Период вращения наблюдаемых ГСКА отличается друг от друга и составляет для первого аппарата $T = 95,8$ с, а для второго – $T = 68,6$ с. Рассматриваемые КА практически совпадают по своим спектральным характеристикам ($B-V$) и ($V-R$), что объясняется их построением на одной космической платформе, но отличаются друг от друга используемым бортовым оборудованием, выявление особенностей изготовления которого является весьма важной задачей.

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Фотометрическая реализация в каждом спектральном диапазоне представляет собой серию вспышек, обусловленных зеркальными бликами от различных элементов конструкции КА, которые накладываются на плавное изменение блеска. Проведение последовательных измерений в различных спектральных интервалах КА, быстро вращающихся вокруг своей оси, не позволяет говорить даже о квазиодновременной регистрации излучения, отраженного от поверхности объекта. Поэтому основным источником информации об объекте в этом случае является фазовая кривая блеска. В связи с этим были построены фазовые кривые блеска (рис. 3 и 4) путем вычисления периода вращения КА вокруг центра масс и использования процедуры циклической свертки с ним временного ряда измерений

$$S(k) = A(k) * B(k) = \sum_{m=0}^k A(m)B(k-m),$$

где $k = 0 \dots N-1$ – количество дискрет;

$A(k), B(k)$ – спектры сворачиваемых дискретных сигналов;

N – количество отсчетов в периоде сигнала.

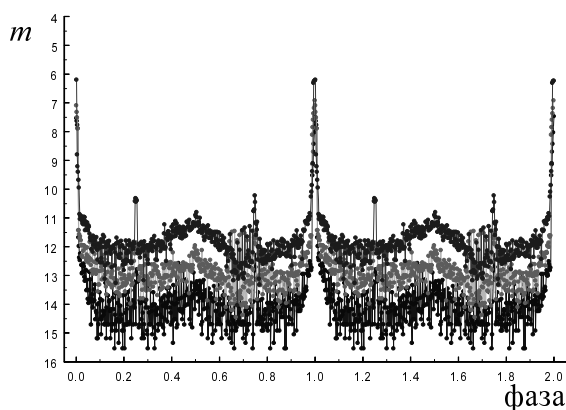


Рис. 3. Фазовая кривая ГСКА № 1 в светофильтрах B, V и R

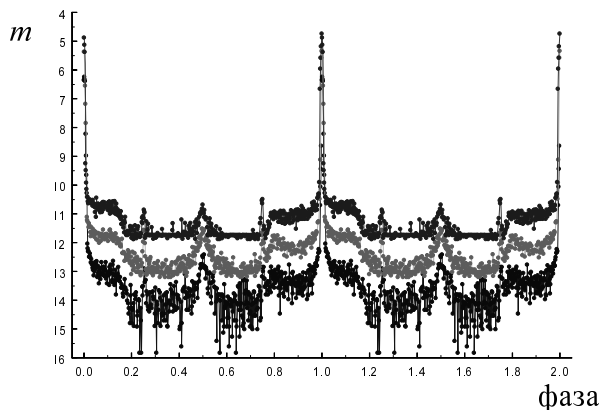


Рис. 4. Фазовая кривая ГСКА № 2 в светофильтрах B, V и R

Если схожий характер фазовых кривых блеска (периода, амплитуды зеркальных бликов, характера изменения диффузной составляющей) обусловлен однообразным конструктивным построением обоих КА, то после вычисления их показателей цвета ($B-V$) и ($V-R$) видно (рис. 5–8), как сильно они отличаются друг от друга из-за разного технического оборудования, расположенного на борту каждого из КА.

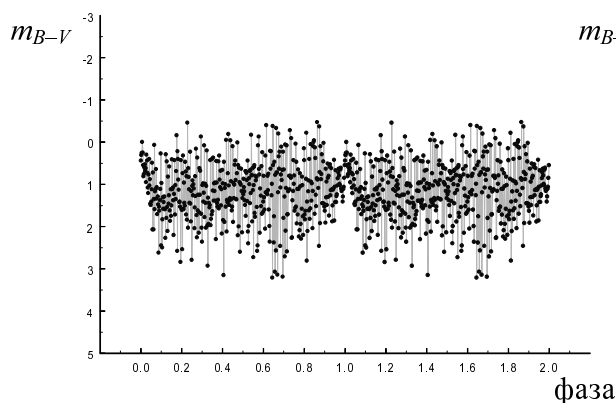


Рис. 5. Фазовая кривая ГСКА № 1 показателя цвета (B-V)

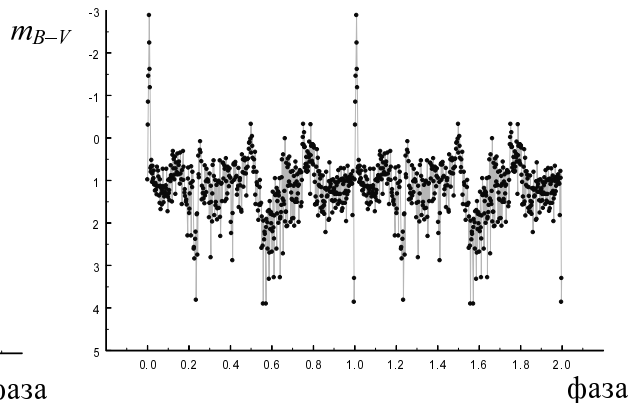


Рис. 6. Фазовая кривая ГСКА № 2 показателя цвета (B-V)

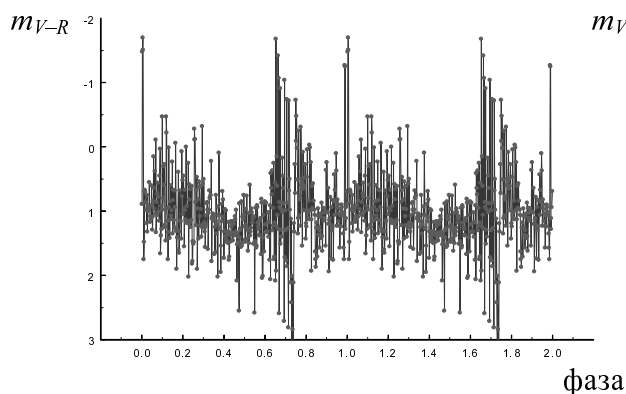


Рис. 7. Фазовая кривая ГСКА № 1 показателя цвета (V-R)

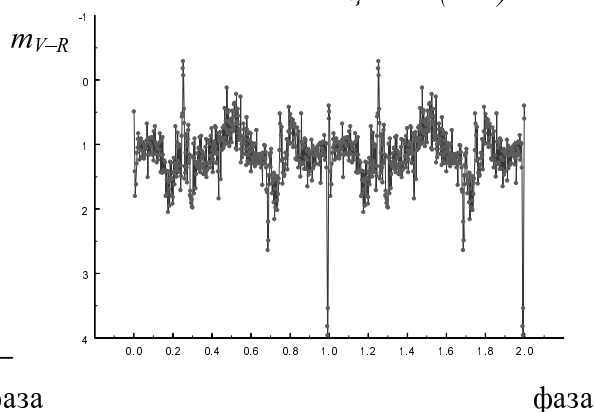


Рис. 8. Фазовая кривая ГСКА № 2 показателя цвета (V-R)

Стоит заметить, что получаемые измерения после пересчета на заатмосферном участке не подходят для использования в рассматриваемом случае – это связано с мультипликативными помехами, вносимыми атмосферной турбулентностью в фотометрические измерения. На рис. 3 и 4 видно, что фазовая кривая обоих КА сильно зашумлена, и для дальнейшей обработки измерений необходимо отфильтровать высокочастотные шумы путем сглаживания. Для уменьшения влияния помех целесообразно произвести сглаживание исходных результатов наблюдений в каждом светофильтре. При сглаживании и фильтрации исходной информации могут применяться различные подходы, например метод наименьших квадратов или стандартная процедура Блекмана и Тьюки. Само предварительное сглаживание фазовой кривой блеска осуществляется в скользящем окне [1]. В предполагаемом методе была использована медиана значений, попавших в окно сглаживания. Основное преимущество медианного сглаживания, в сравнении, например, со сглаживанием скользящим средним, в том, что результаты становятся более устойчивыми к выбросам значений, имеющимся внутри окна. Оно дает возможность компенсировать случайную составляющую, а фазовая кривая блеска принимает вид, представленный на рис. 9 и 10.

Таким образом, если в данных наблюдений имеются выбросы (связанные, например, с ошибками измерений или зеркальными бликами от элементов аппаратуры), то сглаживание медианой обычно приводит к более гладким и более надежным реализациям по сравнению со скользящим средним с тем же самым окном. При сглаживании измерений необходимо правильно подобрать ширину скользящего окна, так как от этого параметра зависит степень сглаживания измеряемых данных. Чем шире окно, тем лучше происходит сглаживание – при

большой ширине окна происходят не только сглаживание помех, но и потеря информации о динамических характеристиках принимаемого сигнала, что может вызвать ошибки при дальнейшей обработке измерений. При обработке наблюдений окно сглаживания было выбрано размером двадцать точек (измерений). На фазовой кривой блеска, построенной по усредненным данным (рис. 9 и 10), были выделены характерные участки, связанные с отражением света от отдельных элементов конструкции КА.

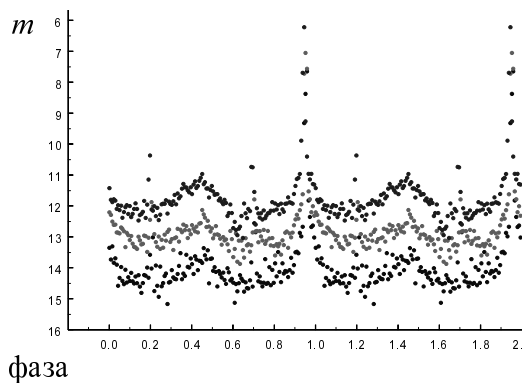


Рис. 9. Фазовая кривая блеска ГСКА № 1 (полосы В, V и R)

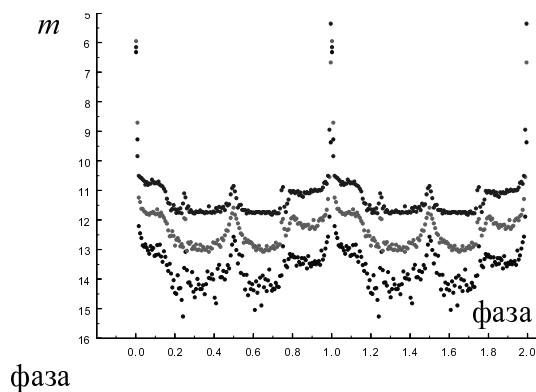


Рис. 10. Фазовая кривая блеска ГСКА № 2 (полосы В, V и R)

Рассмотрим предложенный метод анализа результатов многоцветных фотометрических измерений на примере ГСКА № 2. На сглаженной фазовой кривой блеска были выделены характерные участки, связанные с отражением света от отдельных элементов конструкции наблюдаемого КА, выявленными за счет регистрации пиков в его спектре. На рис. 11 изображены выделенные характерные участки фазовой кривой блеска ГСКА № 2. Для каждого характерного участка в табл. 1 приведены значения фазы и величины блеска, регистрируемого в различных спектральных диапазонах.

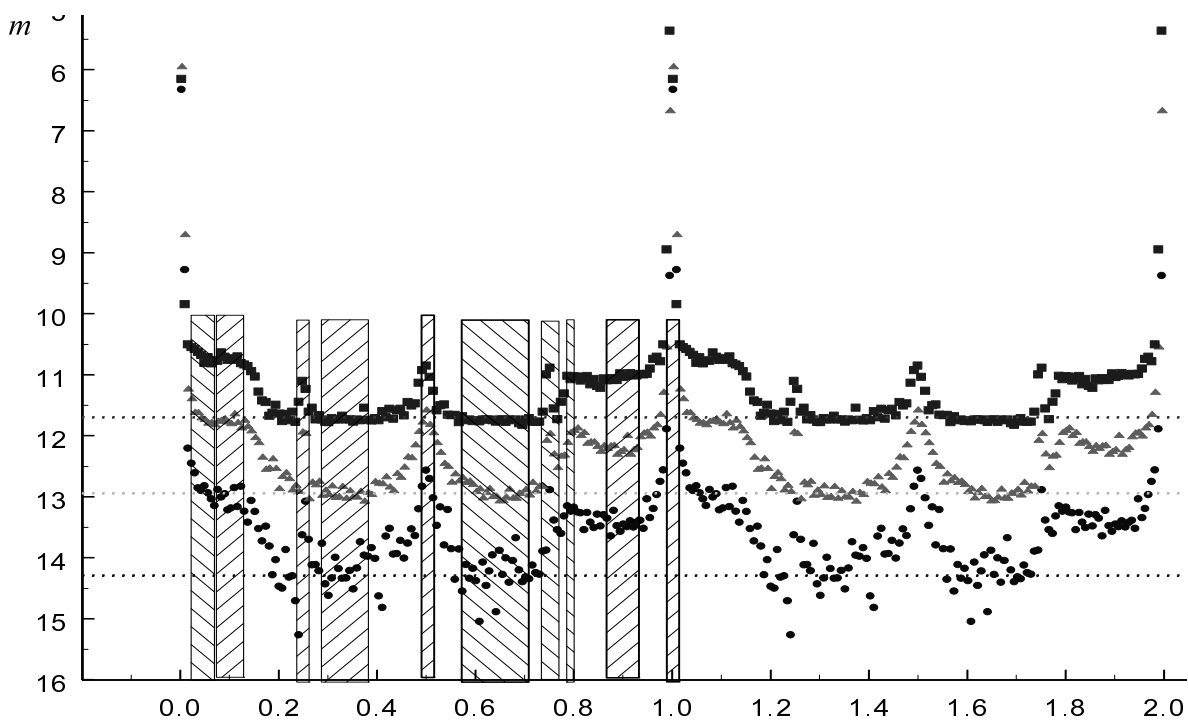


Рис. 11. Характерные участки фазовой кривой блеска ГСКА № 2 в светофильтрах В – ●; V – ▲ и R – ■

Таблица 1

Величина блеска на характерных участках фазовой кривой блеска ГСКА № 2

№ характерного участка	Фаза	Фильтр <i>B</i> , зв. вел.	Фильтр <i>V</i> , зв. вел.	Фильтр <i>R</i> , зв. вел.
1	0,3–0,4; 0,57–0,71	14,29	12,94	11,69
2	0,98–1,02	6,37	5,96	5,35
3	0,03–0,07	12,58	11,47	10,74
4	0,08–0,12	13	11,75	10,71
5	0,25	13,64	11,95	10,84
6	0,5	12,56	11,57	10,84
7	0,75	12,9	11,98	10,9
8	0,8	13,19	11,91	11,02
9	0,88–0,93	13,47	12,2	11,02

Вспышки от различных конструктивных элементов регистрируются на фоне блеска, получаемого при диффузном отражении солнечного излучения от всей наблюдаемой поверхности КА. При анализе фазовых кривых блеска необходимо определить минимальный уровень диффузной составляющей блеска, регистрируемый за время однофазных измерений в каждом светофильтре, причем его величина почти не зависит от фазы. Для вычисления истинных спектральных характеристик наблюдаемого элемента конструкции КА необходимо определить показатели цвета минимального уровня диффузной составляющей блеска и относительно него рассчитать показатели цвета каждого характерного участка фазовой кривой блеска [4]. Вычисление звездной величины выявленных характерных участков осуществляется в соответствии с представленными ниже выражениями

$$m_{B\text{хар}} = -2,5 \lg(G_{B\text{хар}} - G_{B\text{min}});$$

$$m_{V\text{хар}} = -2,5 \lg(G_{V\text{хар}} - G_{V\text{min}});$$

$$m_{R\text{хар}} = -2,5 \lg(G_{R\text{хар}} - G_{R\text{min}}),$$

где $m_{B\text{хар}}$, $m_{V\text{хар}}$, $m_{R\text{хар}}$ – звездная величина характерного участка с учетом фонового излучения для полос *B*, *V* и *R* соответственно;

$G_{B\text{хар}}$, $G_{V\text{хар}}$, $G_{R\text{хар}}$ – отсчеты фотометра в полосах *B*, *V* и *R* на выделенном характерном участке фазовой кривой блеска;

$G_{B\text{min}}$, $G_{V\text{min}}$, $G_{R\text{min}}$ – отсчеты фотометра в полосах *B*, *V* и *R* на участке с минимальным (фоновым) уровнем интенсивности.

Необходимо отметить, что на выделенном характерном участке звездные величины являются суммарными; они соответствуют сумме потоков излучения от выделенной характерной детали и от фонового потока всего КА. Чтобы найти истинный (не искаженный фоновым излучением) показатель цвета выбранного характерного участка, необходимо воспользоваться выражениями

$$C.I._{B-V} = m_{B\text{хар}} - m_{V\text{хар}} = -2,5 \lg(G_{B\text{хар}} - G_{B\text{min}}) + 2,5 \lg(G_{V\text{хар}} - G_{V\text{min}});$$

$$C.I._{V-R} = m_{V\text{хар}} - m_{R\text{хар}} = -2,5 \lg(G_{V\text{хар}} - G_{V\text{min}}) + 2,5 \lg(G_{R\text{хар}} - G_{R\text{min}}),$$

где $C.I._{B-V}$ – показатель цвета *B-V*;

$C.I._{V-R}$ – показатель цвета *V-R*.

В рассматриваемом примере минимальный блеск регистрируется на первом характерном участке. Вычисленные показатели цвета выделенных характерных участков фазовой кривой блеска ГСКА № 2 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Спектральные характеристики характерных участков

№ характерного участка	Показатели цвета без учета минимального уровня блеска		Показатели цвета с учетом минимального уровня блеска	
	(B-V), зв. вел.	(V-R), зв. вел.	(B-V), зв. вел.	(V-R), зв. вел.
1	1,35	1,25	минимальный уровень блеска	
2	0,41	0,61	0,41	0,61
3	1,11	0,73	1,04	0,47
4	1,25	1,04	1,20	0,92
5	1,69	1,11	2,00	1,01
6	0,99	0,73	0,88	0,43
7	0,92	1,08	0,69	0,94
8	1,28	0,89	1,24	0,58
9	1,27	1,18	1,20	1,10

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявление конструктивных особенностей вращающихся ГСКА (стабилизированных вращением или утративших работоспособность) осуществляется с помощью сопоставления показателей цвета, вычисленных для каждого характерного участка фазовой кривой блеска со спектральными характеристиками материалов покрытий, нанесенных на двухцветную диаграмму [2]. На рис. 12 представлена двухцветная диаграмма со спектральными характеристиками различных материалов покрытий. Показатели цвета (B-V) и (V-R) выделенных характерных участков фазовой кривой блеска ГСКА № 2 обозначены маркерами под соответствующими цифрами.

Такие случайные величины, как ошибки измерений подчиняются нормальному закону распределения, поэтому ошибки, возникающие в ходе измерений показателей цвета и зависящие от большого числа малых погрешностей, будут иметь близкое к нормальному закону распределение в соответствии с выражением

$$f(a) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}},$$

где a – результат полученных измерений;

σ – среднее квадратическое отклонение величины a .

Вероятность попадания измеряемой величины a в интервал $m \pm 3\sigma$ максимальна (99,7 %), т. е. практически достоверно, что разброс измеряемой величины относительно ее математического ожидания m меньше 3σ . Принято, что параметр $\sigma = 0,02$. Отсюда следует, что выбранный нами интервал имеет размеры $a \pm 0,06$, где параметр a – это результат проведенных измерений. «Правило трех сигм» позволяет указать интервал практически возможных значений случайной величины, зная ее математическое ожидание (величину различных значения проводимых измерений) и среднее квадратическое отклонение проводимых измерений; при его применении вероятность ошибки снижается приблизительно до трех случаев из тысячи.

Показателем качества выбрана типичная среднеквадратическая погрешность измерений, производимую современными фотометрами, которая не превышает $0^m,02$.

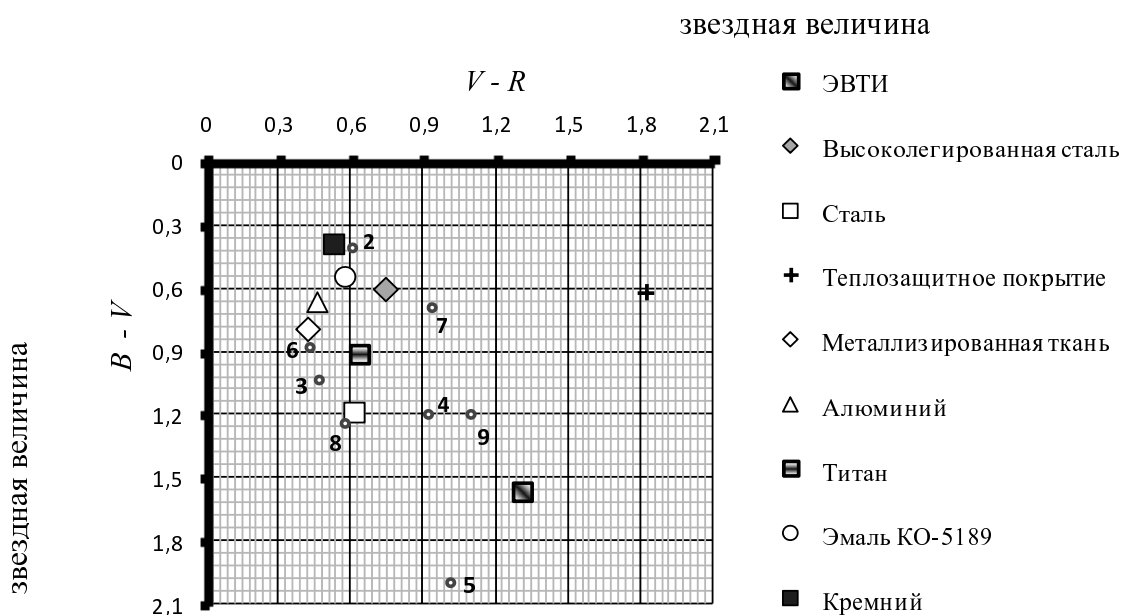


Рис. 12. Показатели цвета материалов и характерных участков ГСКА № 2

В табл. 3 приведены результаты определения предполагаемых материалов, выявленных на характерных участках ГСКА № 2, с указанием расстояния до каждого из них.

Таблица 3

Результаты выявления наблюдаемых материалов

№ характерного участка	Показатель цвета (V-R), зв. вел.	Показатель цвета (B-V), зв. вел.	Величина расстояния R, зв. вел.	Предполагаемый материал
2	0,61	0,41	0,08	Кремний
	0,53	0,39		
6	0,43	0,88	0,08	Металлизированная ткань
	0,43	0,8		
8	0,58	1,24	0,06	Сталь
	0,61	1,19		

При определении конструктивных особенностей ГСКА были использованы непараметрические одноэтапные алгоритмы многоальтернативного распознавания, которые рассчитаны на заранее не известные статистические распределения признаков объектов различных классов, в частности, различных алгоритмов вычисления расстояний и голосования [5]. Размер двухцветной диаграммы определяется значениями спектральных характеристик нанесенных на нее объектов. Выявление конструктивных особенностей КА, для которых определен период вращения, осуществляется по алгоритму минимума расстояний.

Этот алгоритм обеспечивает принятие решения k о классе объекта $i = 1, 2, \dots, M$ по минимуму расстояний R_i или их квадратов от точки многомерного пространства признаков, определяемой оценочным вектором R_i^2 до точек, соответствующих априорным условным средним значениям векторам признаков $\alpha_{i,ср}$, для различных классов объектов i .

В ином случае

$$k = \operatorname{argmin} R_i \text{ или } k = \operatorname{argmin} R_i^2.$$

В силу монотонности квадратичной функции, приведенные равенства равносильны. Об условных распределениях вектора признаков для различных классов достаточно знать только их средние значения. В них могут использоваться различные меры расстояний: евклидово, Махаланобиса или в пространстве обобщенных признаков (было использовано – евклидово).

Для объекта, стабилизированного по трем осям, конструктивные особенности определяются алгоритмом ближайших соседей. Для точки a , определяемой оценочным вектором признаков, находится L ближайших к ней точек из базы данных экспериментальных реализаций вектора признаков. В базе данных собраны экспериментальные реализации спектральных характеристик различных материалов и КО. Наблюдаемый объект относят обычно к тому классу i , к которому относится большинство из L его «ближайших соседей». Мерой близости «соседей» служат вычисленные тем или иным образом расстояния. При $L = 1$ алгоритм «ближайших соседей» переходит в алгоритм «ближайшего соседа». Для фиксированного элементарного объема в пространстве признаков α эти оценки определяются числом попадающих в него реализаций соответствующих классов i .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представленный метод на основе анализа двухцветных диаграмм позволяет выявить конструктивные особенности ГСКА за счет определения материала наблюдаемой поверхности. Существенные различия спектральных характеристик материалов покрытий позволяют уверенно их выявлять, а следовательно, спектрофотометрические наблюдения могут использоваться для получения дополнительной информации о КО. В дальнейшем формирование базы данных спектральных характеристик наблюдаемых КО позволит расширить их фотометрический портрет, повысив вероятность распознавания.

Список используемых источников

1. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Анализ наземной информации об аварийном геостационарном спутнике DSP F-23 // Известия национальной академии наук республики Казахстан. – 2010. – № 4. – С. 24–30.
2. Применение многоспектральных фотометрических данных / Г.Н. Колесниченко, А.В. Миронов, А.А. Васюнин, С.В. Логунов // Информационно-измерительные и управляющие системы. – М.: Радиотехника, 2010. – Т. 8, № 5. – С. 86–91.
3. Курьшев В.И., А.К. Муртазов. Физическое моделирование фотометрических характеристик ИСЗ // Наблюдения искусственных небесных тел. – М.: Астрономический совет АН СССР. – 1987. – № 83. – С. 39–44.
4. Миронов А.В. Основы астрофотометрии. Практические основы фотометрии и спектрофотометрии звезд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 260 с.
5. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.А. Горшков, С.П. Лещенко, Г.Д. Братченко, В.М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника. – М.: Радиотехника, 1996. – № 11. – С. 3–59.

А.В. Ляшевский,
М.В. Ведерников
кандидат техн. наук

ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

Изложены основные проблемы оценивания состояния видов твердого ракетного топлива и сроков их служебной пригодности. Рассматривается старение смесового твердого ракетного топлива с помощью рентгеновского вычислительного томографа. Предложено применение плотности топлива и SD как показателей старения, и рентгеновской вычислительной томографии для ее инструментального оценивания.

Ключевые слова: смесовое твердое ракетное топливо, старение, рентгеновская вычислительная томография, прогнозирование.

Смесовые твердые ракетные топлива (СТРТ) являются сложными системами, включающими в себя компоненты с различными физико-химическими свойствами. В процессе длительного хранения и вследствие старения эти системы претерпевают необратимые изменения, которые сопровождаются снижением или даже потерей необходимых эксплуатационных свойств [1–4].

Неопределенность условий хранения изделий, содержащих данный вид топлива, в районах эксплуатации в большой степени усложняет оценивание сроков хранения и требует разработки как объективных методов прогнозирования сроков служебной пригодности СТРТ, так и способов уточнения этих сроков в процессе эксплуатации.

В настоящее время прогнозирование времени сохранения эксплуатационных характеристик видов топлива в допустимых пределах основывается на результатах ускоренных испытаний в условиях повышенной температуры, влажности, напряжений и других факторов [1, 2].

Обзор работ [1, 2, 5–8] свидетельствует о том, что кривые изменения характеристик материалов при старении в форсированных условиях имеют сложный вид. Между тем авторы этих работ при расчете ожидаемых изменений свойств материалов или сроков их хранения используют упрощенные методы обработки экспериментальных кинетических кривых. Такой подход может приводить к противоречивым оценкам ожидаемых изменений, а также к ошибкам не только количественного, но и качественного характера. Это, в свою очередь, вызывает ошибки в определении сроков служебной пригодности изделий или неоправданное завышение нормативных требований по эксплуатационным характеристикам. При этом отсутствуют эффективные методы неразрушающего контроля топлива в эксплуатационных условиях, что приводит к очевидному увеличению риска нахождения в эксплуатации неисправных ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) с одной стороны, и к необоснованному снижению сроков служебной пригодности исправных РДТТ – с другой.

Установление механизма старения и закона формирования определяющей характеристики топлива явилось бы наилучшей гарантией достоверного прогноза, а инструментальное определение ее значений – привело к повышению безопасности эксплуатации.

Целью исследования является обоснование выбора контролируемого параметра для оценивания изменений СТРТ в процессе старения, а также определение наиболее рационального способа его инструментальной оценки.

Для инструментальной количественной оценки состояния топлива предлагается использование рентгеновской вычислительной томографии (РВТ), метод которой обладает уникаль-

ными возможностями для проведения неразрушающего контроля РДТТ. Этот метод позволяет получить количественную оценку плотности в единицах Хаунсфилда и ее распределение [9, 10]. Таким образом, плотность и SD предлагается использовать в качестве показателя старения, по изменению значения которого возможен контроль старения СТРТ [1].

Для достижения указанной цели осуществлено ускоренное тепловое старение образцов СТРТ, состоящих из наиболее распространенных в производстве компонентов, при температуре несколько ниже той, при которой в образце топлива начинаются физические и химические процессы, не происходящие при эксплуатации. Исследование образцов топлива в процессе старения проведено на медицинском рентгеновском томографе с высокой разрешающей способностью в режиме функции количественной плотнометрии.

При рассмотрении среза топлива под микроскопом можно различить частицы твердого окислителя и металлического горючего, равномерно распределенные в массе органического полимерного горюче-связующего вещества (ПГС) (рис. 1, а). В связи с этим неоднородность структуры топлива, вызванная неоднородностью компонентов топлива в объеме, приводит к отклонениям плотности в микрообъемах заряда от среднего значения для общей массы заряда.

СТРТ присуща макроструктура гетерогенных систем. Плотность топлива зависит от природы (плотности) компонентов, их содержания и степени уплотнения, достигаемой при производстве.

Исследование исходного состояния заряда на плоских томограммах подтверждает сказанное выше. Изначально, в своде заряда твердого топлива имеются места с максимальным и минимальным значениями плотности, незначительно отличающиеся от ее среднего значения в заряде. Такие места вносят неоднородность в структуру заряда, и эту неоднородность можно количественно оценить показателем SD (Standard Deviation – стандартное отклонение) – показателем рассеивания значений плотности относительно ее математического ожидания [9]. Это интегральная величина, и она формируется из всех значений плотности материалов оцениваемой области, характеризуя ее уплотненность. У зарядов, успешно прошедших контроль качества, значение SD в определяемой области мало (менее 1 % от плотности) (рис. 1, б), т. е. SD может рассматриваться в качестве показателя однородности топливной массы и степени уплотнения компонентов в топливе.

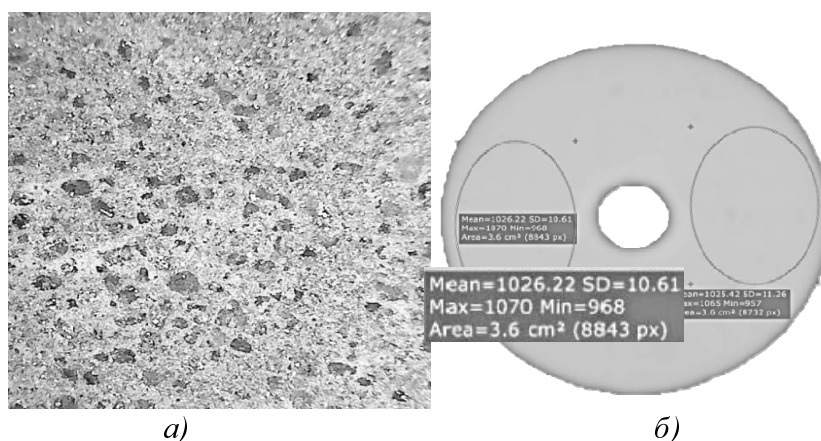


Рис. 1. Гетерогенная структура СТРТ:
 а) под микроскопом с увеличением $\times 10$;
 б) на РВТ с выделенными областями интереса,
 где Mean – средняя плотность, SD – стандартное отклонение,
 max – максимальная плотность, min – минимальная плотность

Известно, что старение СТРТ, учитывая его физическую и химическую природу, является сложным по внутренней структуре процессом, обусловленным деструкцией ПГС как наименее стойкого элемента СТРТ [6, 7]. Старение является цепным процессом и рассматривается трехстадийное [6]. Каждая из трех стадий может быть идентифицирована и определена следующим образом.

Этап 1. Инициирование, состоящее в образовании активных центров деструкции – полимер разлагается по активационному механизму.

Этап 2. Потеря устойчивости полимерного вещества и вырожденное разветвление его полимерной цепи – совокупность реакций с участием активных центров, приводящих к изменению химической структуры и физических свойств ПГС.

Этап 3. Обрыв цепей – дезактивация активных центров и последующий медленный процесс деструкции коротких цепей.

Каждый этап, в соответствии с реализуемым механизмом процесса, требует своего описания при использовании показателей РВТ.

На *этапе 1* наблюдаются увеличение SD и изменение значений плотности ввиду образования объемов, заполненных элементами с низкой плотностью относительно ее среднего значения (рис. 2). Появление этих объемов может быть обусловлено нарушением адгезии в связке наполнитель-полимер, а также вялотекущим разложением ПГС, что впоследствии приводит к понижению молекулярного веса и увеличению микропористости структуры топлива. В соответствии с [1] СТРТ всегда содержит микропоры, давление газа в которых в начальный момент равно атмосферному.

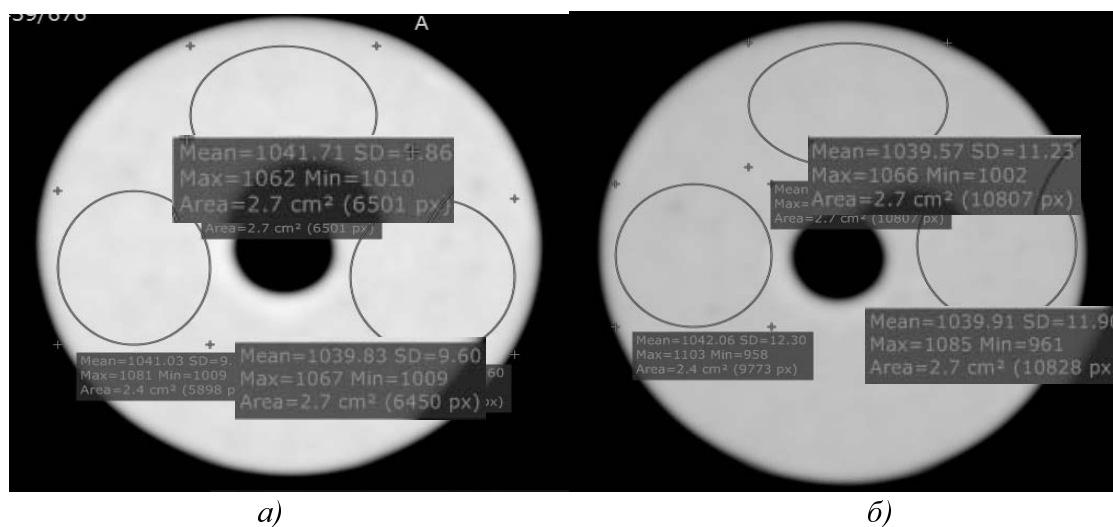


Рис. 2. Значения показателей РВТ:
а) до старения; б) после 5 суток ускоренного старения

При дальнейшем старении в результате распада малостойких компонентов СТРТ образуются газообразные продукты. Для полиуретанов это CO [7]. Выделяющийся двухатомный газ легко диффундирует из верхних слоев изделия. Его диффузия из внутренних слоев затруднена. Поэтому основная масса газа частично растворяется в топливе, диффундирует в образовавшиеся в результате деструкции микропустоты и, накапливаясь, создает в пустотах избыточное давление.

Для данного участка наилучшей аппроксимацией процесса является применение математического описания процессов активационного типа (уравнение Аррениуса). Видимо, это вызвано тем, что поток вещества, переносимого молекулярной диффузией, больше, чем количество реагирующего вещества в единицу времени, и поэтому скорость разложения ПГС будет определяться кинетической константой.

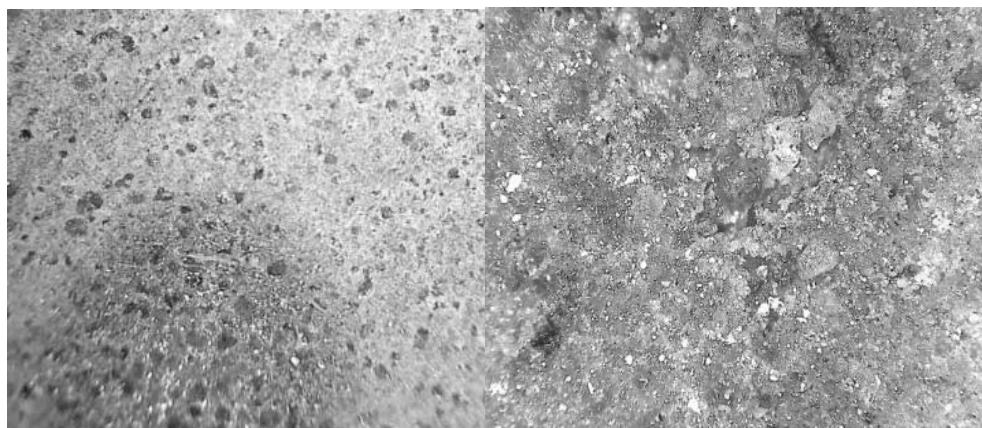
На *этапе 2* в местах с пониженной молекулярной массой и повышенной микропористостью, содержащей газообразные продукты, происходит разрыв химических связей в главной цепи макромолекулы, что приводит к образованию дополнительных центров деструкции и более коротких цепочек. Возникшие при разрыве свободные радикалы обладают высокой реакционной способностью и могут вступать в различные химические реакции, характерные для макрорадикалов. Ограниченный размер свободных объемов образца повышает вероятность столкновения радикалов, что вызывает ускоренное структурирование. Поэтому конечными продуктами деструкции являются соединения более низкого молекулярного веса разветвленного или пространственного строения.

Совокупность вышеперечисленных процессов приводит к образованию областей с пониженной плотностью (рис. 3, 4). Понижение значений средней, максимальной и минимальной плотностей в них, а также увеличение SD, характеризующего степень неоднородности материала, позволяют говорить об увеличении объема и разрыхления в области пониженной плотности.

Вокруг области пониженной плотности (рис. 5) происходит уплотнение материала топлива до значений, превышающих исходное среднее значение для образца. Для уплотненных участков характерно снижение SD. Все это свидетельствует: во-первых, о наличии внутреннего давления в порах этой области, пропорционального концентрации газа в них; во-вторых, об окончании роста объема этой области относительно заряда.



Рис. 3. Показатели РВТ области пониженной плотности и основной массы заряда



а)

б)

Рис. 4. Вид области пониженной плотности на срезе топлива:
а) увеличение $\times 10$; б) увеличение $\times 100$

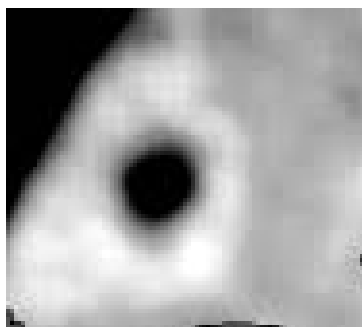


Рис. 5. Область с пониженной плотностью и уплотнение вокруг нее

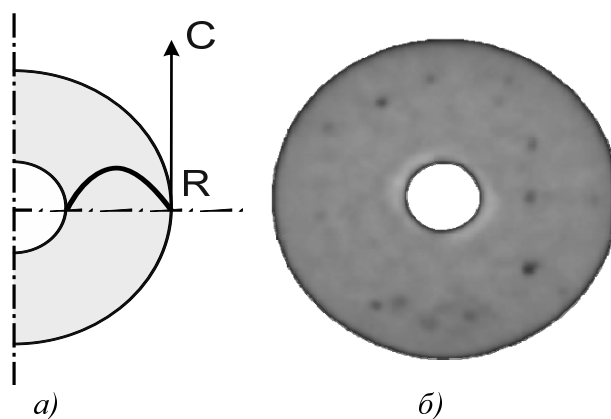


Рис. 6. Распределение концентрации газа в своде заряда по закону Фика (а) и областей пониженной плотности в своде на томограмме (б)

Возникновение областей пониженной плотности в процессе старения наблюдается в середине свода заряда, что соответствует закону Фика [1, 8] и характеру распределения изменения максимальной концентрации газа в зависимости от радиуса изделия и времени (рис. 6). Однако стоит отметить, что понижение плотности имеет не равномерное распределение по своду заряда, как предполагается в [1], а имеет очаговый характер.

Процессы, рассмотренные на *этапе 2*, приводят к объемным изменениям заряда, что характеризуется уменьшением его средней плотности в процессе старения. При этом скорость уменьшения средней плотности довольно велика в начале процесса деструкции, а затем постепенно снижается до достижения условного предела. Возможно, постоянство средней плотности в конце *2-го этапа* определяется такими факторами, как ограниченный размер поверхности сформировавшейся пористой структуры и процессами диффузии продуктов реакций в заряд. Таким образом, рассматриваемый этап обусловлен быстро протекающими процессами разложения ПГС, скорость которых будет определяться коэффициентом молекулярной диффузии.

На протяжении *2-го этапа* среднее значение SD увеличивается. Это обусловлено образованием в объеме заряда элементов, значение плотности которых отличается от среднего значения общего объема заряда. Следовательно, локальные понижения или повышения плотности топлива, вызванные протекающими внутренними процессами, приводят к неоднородному распределению плотности в заряде, а степень этой неоднородности можно количественно оценить по изменениям SD.

Для математического описания процессов данного этапа предлагается использование уравнения регрессии в виде полинома второй степени.

Рассмотрим области пониженной плотности топлив, формируемых *на 2-м этапе*, более подробно. Их образование вызвано процессами деструкции ПГС. Внутри области происходит переструктурирование макромолекул продуктов разложения, т. е. образование молекул меньшей длины линейного, разветвленного или сетчатого строения, приведшее к отличным от остальной топливной массы строению, структуре и свойствам топлива в данной области, а также к слабой ее адгезии с окружающим материалом (рис. 7).

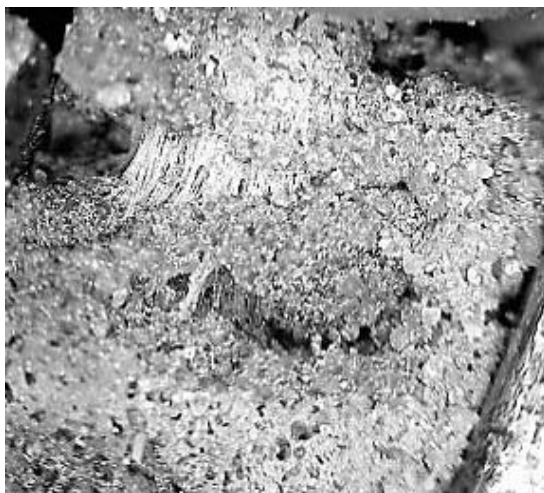


Рис. 7. Отслоение области пониженной плотности в результате нагружения

В силу того, что концентрация газа в центральной части свода заряда выше, чем в остальной части, а жесткость свода заряда в радиальном направлении ниже, чем в осевом, происходит формирование цепочек областей пониженной плотности, ориентированных в направлении вдоль оси канала (рис. 8).

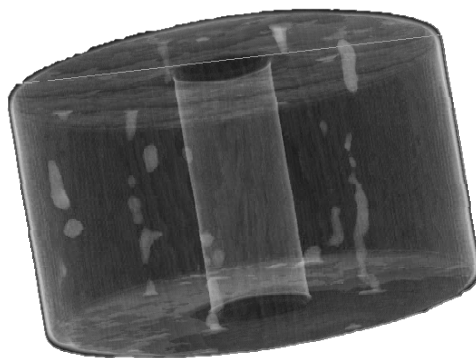


Рис. 8. Конфигурация областей пониженной плотности внутри заряда

Наиболее интенсивное изменение показателей РВТ наблюдалось на участках заряда, имеющих более низкие исходные значения плотности топлива. Это обусловлено тем, что доля ПГС на этих участках выше, чем во всем заряде. Поэтому неоднородности структуры в полимере, обусловленные химической гетерогенностью и различным распределением звеньев по цепи, оказывают влияние на механизм и кинетику протекающих процессов. Таким образом, влияние плотности полимера сводится к тому, что цепной процесс будет локализоваться в зонах, представленных менее плотными и более дефектными по структуре участками цепи. Это обстоятельство предполагает необходимость проведения

более тщательного исследования таких областей при проведении обследования РДТТ в процессе их эксплуатации.

На *этапе 3* дальнейшее старение топлива не носит явно выраженного активационного характера. Этап характеризуется продолжающимся увеличением SD и уменьшением плотности в областях пониженной плотности при неизменной средней плотности самого заряда, что соответствует последующему медленному процессу деструкции продуктов разложения в этих областях.

Анализ процесса разложения этого остатка показал, что, возможно, его скорость определяется теми же факторами, что и в конце *2 этапа*. Процессы подобного типа со сложной внутренней природой хорошо описываются уравнением закона растянутой экспоненты (уравнением Кольрауша) или аналогичным более общим уравнением *Ерофеева – Колмогорова* [11].

Так как каждый элементарный объем заряда оказывает влияние на свойства и характеристики всего заряда, то рассмотрим изменение средних значений показателей РВТ по всему объему заряда.

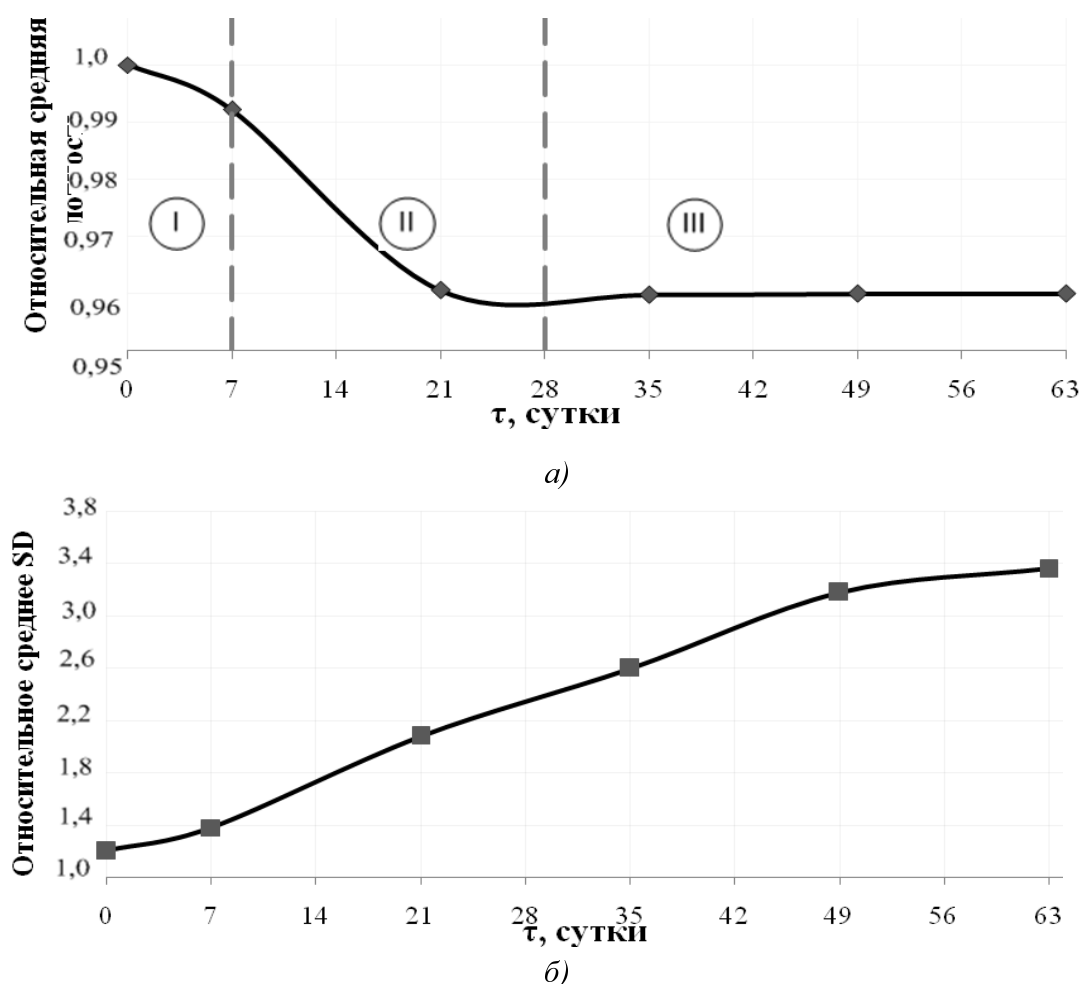


Рис. 9. Изменение показателей РВТ в процессе старения: а) средняя плотность; б) стандартное отклонение

На графике (рис. 9, а) обозначены названные выше этапы. Кинетика процесса характеризуется наличием явно выраженного индукционного периода, во время которого не наблюдается видимого протекания реакции в материале (0–7 сут), далее реакция развивается с

большей скоростью с выходом на плато (7–28 сут и далее). Очевидно, что скорость протекания описанных выше процессов будет зависеть от температуры.

Деструкция ПГС на первом и втором этапах проходит медленно, при анализе плотности малозаметна, поэтому для контроля процесса возможно использование SD, так как этот показатель увеличивается на протяжении всего процесса старения (рис. 9, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе старения СТРТ наблюдается изменение ее структуры, что связано с деструкцией макромолекул горючего и нарушением его адгезии с окислителем. Протекающие в заряде процессы деструкции приводят к понижению плотности заряда, но до определенного предела. В тоже время SD плотности от ее среднего значения возрастает в течение всего времени старения – это свидетельствует о непрерывном росте неоднородности структуры топлива.

При старении в зонах с изначально меньшей плотностью и в середине заряда образуются области пониженной плотности, которые в дальнейшем увеличиваются в объеме, плотность материала в них уменьшается, а SD увеличивается. Образование и последующее изменение областей приводят к изменению структуры заряда и, как следствие, его характеристик.

Таким образом, использование плотности как показателя старения СТРТ позволит построить математическую модель, описывающую зависимость потери плотности в результате старения. Модель отражает физику и химию процесса, протекающего при разложении ПГС, и может быть использована для более точного прогнозирования сроков служебной пригодности РДТТ.

Использование РВТ для контроля состояния зарядов ТРТ в процессе длительного хранения позволит выбраковывать неисправные РДТТ и уточнять прогнозные оценки.

Список используемых источников

1. *Рогов Н.Г.* Физико-химические свойства порохов и твердых ракетных топлив: учеб. пособие. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2005. – 200 с.
2. *Кузнецов Н.П.* Испытания ракетных двигателей твердого топлива. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. – 704 с.
3. *Цуцуран В.И.* Военно-технический анализ состояния и перспективы развития ракетных топлив: учеб. пособие. – МО РФ, 1999. – 332 с.
4. *Фахрутдинов И.Х.* Ракетные двигатели твердого топлива: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.
5. *Гойхман Б.Д.* Прогнозирование изменений свойств полимерных материалов при длительном хранении и эксплуатации // *Успехи химии.* – 1980. – № 3 (49). – С. 1554–1573.
6. *Тагер А. А.* Физикохимия полимеров. – М.: Химия, 1978. – 544 с.
7. *Талин Д.Д.* Физико-химические свойства взрывчатых веществ, порохов и твердых ракетных топлив: учеб. пособие. – Пермь: ПГТУ, 2007. – 274 с.
8. *Фиошина М.А.* Основы химии и технологии порохов и твердых ракетных топлив: учеб. пособие. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. – 207 с.
9. *Календер В.* Компьютерная томография. Основы, техника, качество изображений и области клинического использования: пер. с англ. – М.: Техносфера, 2006. – 344 с.
10. *Вайнберг Э.И.* Универсальные компьютерные томографы для отработки и сертификации ответственных промышленных изделий. Критерии выбора // *Двигатель.* – 2011. – № 4 (76). – С. 20–26.
11. *Сиренко В.С.* Моделирование термодеструкции полиуретанов и эпоксидной смолы в инертной атмосфере // *Вопросы атомной науки и техники.* – 2003. – № 1(20). – С. 34–39.

М.М. Пеньков,
доктор техн. наук, профессор;
С.И. Ханков,
доктор техн. наук;
Д.А. Мосин,
кандидат техн. наук, доцент;
И.А. Уртминцев,
кандидат техн. наук;
Е.В. Лаповок,
кандидат техн. наук

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБРАЗЦОВ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ В СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

Изложен метод измерения степени черноты поверхностей степени черноты покрытий на образцах материалов в стационарном тепловом режиме. Метод предназначен для измерений без использования вакуумной камеры.

Ключевые слова: радиационные свойства поверхности, степень черноты поверхности, теплообмен, конвекция, излучение, коэффициент лучистого теплообмена.

Обычно для исследований радиационных свойств поверхностей, а именно для измерений степени черноты используются вакуумные камеры, позволяющие обеспечить отсутствие конвекции, когда теплоотдача от образцов в окружающую среду осуществляется только теплообменом излучением. Однако возможно измерение степеней черноты поверхностей образцов, размещаемых прямо в воздушной среде, что позволяет существенно упростить и удешевить опыты. В этом случае образцы материалов с покрытиями, нагреваемыми источниками тепловыделений, и подвешенные на воздухе тонкой нитью, отдают в окружающую среду тепловую энергию конвекцией и излучением.

Конструктивно устройство для таких измерений выполняется в виде двух плоскопараллельных образцов, установленных с некоторым зазором параллельно друг другу. Внутри зазора устанавливается электрический нагреватель, мощность которого регулируется, и при каждом значении мощности измеряется стационарная температура образцов.

В стационарном тепловом режиме уравнение теплового баланса имеет вид

$$\alpha S (T_s - T_c) + qS = P, \quad (1)$$

где α – коэффициент конвективного теплообмена;
 S – теплоотдающая площадь поверхности образца;
 T_s, T_c – температуры образца и окружающей среды в К;
 q – удельная тепловая мощность, отдаваемая в окружающую среду излучением;
 P – мощность источника тепловыделений, затрачиваемая на нагрев образца.

Величина q определяется из соотношения

$$q = \varepsilon q_m. \quad (2)$$

Здесь q_m – удельная мощность излучения для абсолютно черной поверхности,

$q_m = \sigma (T_s^4 - T_c^4)$, где σ – постоянная Стефана – Больцмана,

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$;

ε – степень черноты поверхности образца.

Введем следующее ограничение на условие проведения эксперимента: при разных степенях черноты поверхности образца поддерживается постоянное значение его температуры T_s , что достигается соответствующей регулировкой мощности P .

Очевидно, что значение удельной мощности q_m легко определяется по значениям T_s и T_c , при этих же значениях температур измеряется мощность тепловыделений P . Таким образом, величины T_s , T_c , q_m и P в рассматриваемой задаче являются заданными, так же как и площадь поверхности S .

Искомыми величинами являются коэффициент лучистого теплообмена α и степень черноты ε .

Эксперимент проводится в следующей последовательности: сначала исследуется образец с абсолютно черной поверхностью (контрольный образец – КО), затем измерения проводятся для образца с неизвестной степенью черноты, которую требуется определить (исследуемый образец – ИО).

Конвективный коэффициент теплообмена α может быть определен из расчета по известным методикам. Однако если экспериментаторы затрудняются с его расчетами, или хотят учесть в эффективном значении α теплоотвод по проводам электронагревателя и по нити подвеса образца, то величину α можно определить из эксперимента с КО.

В этом случае величина α может быть вычислена из соотношения

$$\alpha = \frac{Q_m - q_m}{\vartheta_s}; \quad Q_m = \frac{P_m}{S}; \quad \vartheta_s = T_s - T_c, \quad (3)$$

где Q_m – удельная мощность тепловыделений в КО или мощность тепловыделений при $\varepsilon = 1$, отнесенная к площади теплоотдающей поверхности образца;

ϑ_s – перегрев поверхности образца над окружающей средой.

На следующем этапе из опыта с ИО определяется степень черноты из соотношения, следующего из соотношений (1) и (2):

$$\varepsilon = \frac{Q_0 - \alpha \vartheta_s}{q_m}; \quad Q_0 = \frac{P_0}{S}, \quad (4)$$

где Q_0 – удельная мощность тепловыделений в ИО;

P_0 – полная мощность тепловыделений в ИО, при которой достигается та же величина перегрева ϑ_s , что и в КО.

Подставив в формулу (4) выражение для α из соотношения (3), получим

$$\varepsilon = \frac{Q_0 - Q_m}{q_m} + 1 = 1 - \delta Q; \quad \delta Q = \frac{\Delta Q}{q_m}; \quad \Delta Q = Q_m - Q_0, \quad (5)$$

где ΔQ и δQ соответственно абсолютное и относительное приращение мощности тепловыделений в образце при изменении степени черноты его поверхности относительно значения $\varepsilon = 1$.

Таким образом, измеряя мощности тепловыделений в ИО и КО, затрачиваемые на поддержание температуры поверхностей образцов на уровне T_s , можно определить степень черноты исследуемой поверхности.

Задавая в экспериментах различные значения температурного уровня T_s , можно определить зависимость степени черноты от температуры. Точно также можно с использованием формулы (3) определить зависимость от температуры коэффициента теплообмена. Для решения задачи получения зависимости ε (ϑ_s) из стационарного теплового режима информация о зависимости α (ϑ_s) не нужна.

В стационарном тепловом режиме удельная тепловая мощность, а точнее поверхностная плотность мощности Q , Вт/м², рассеиваемая конвекцией и излучением во внешнюю среду, определяется по известным значениям T_s и α с помощью соотношения

$$Q = \alpha(T_s - T_c) + \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_c^4). \quad (6)$$

Значения Q в зависимости от температурного уровня и степени черноты поверхности образца представлены в табл. 1, а также на рис. 1, 2.

Таблица 1

Зависимость требуемой удельной мощности тепловыделений в Вт/м² от степени черноты поверхности образца и его температуры, К

T_s	Q					
	$\varepsilon = 0,001$	$\varepsilon = 0,01$	$\varepsilon = 0,2$	$\varepsilon = 0,6$	$\varepsilon = 0,8$	$\varepsilon = 1$
300	0	0	0	0	0	0
310	64,1	70,1	76,5	102	115	128
320	151	163	177	231	258	285
330	248	267	288	374	416	459
340	352	378	408	528	587	647
350	461	496	535	692	770	848
360	574	619	668	865	964	1063
370	692	746	807	1148	1169	1289
380	813	879	951	1240	1385	1529
390	938	1015	1100	1441	1612	1782
400	1066	1155	1255	1651	1850	2048
410	1197	1300	1414	1871	2100	2328
420	1330	1448	1578	2100	2361	2622
430	1466	1599	1747	2339	2635	2931
440	1604	1754	1920	2587	2920	3254
450	1744	1912	2098	2845	3218	3592

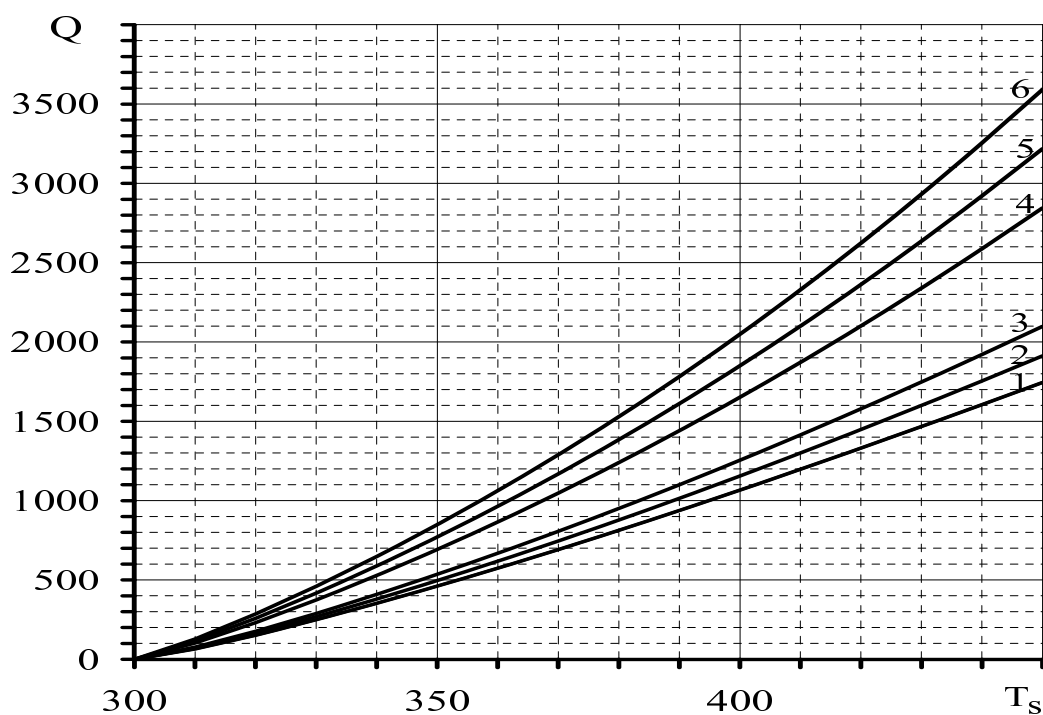


Рис. 1. Зависимость поверхностной плотности мощности Q , Вт/м², рассеиваемой конвекцией и излучением во внешнюю среду от температуры образца.

Кривая 1 соответствует степени черноты образца

$\varepsilon = 0,01$; 2 – $\varepsilon = 0,1$; 3 – $\varepsilon = 0,2$; 4 – $\varepsilon = 0,6$; 5 – $\varepsilon = 0,8$; 6 – $\varepsilon = 1$

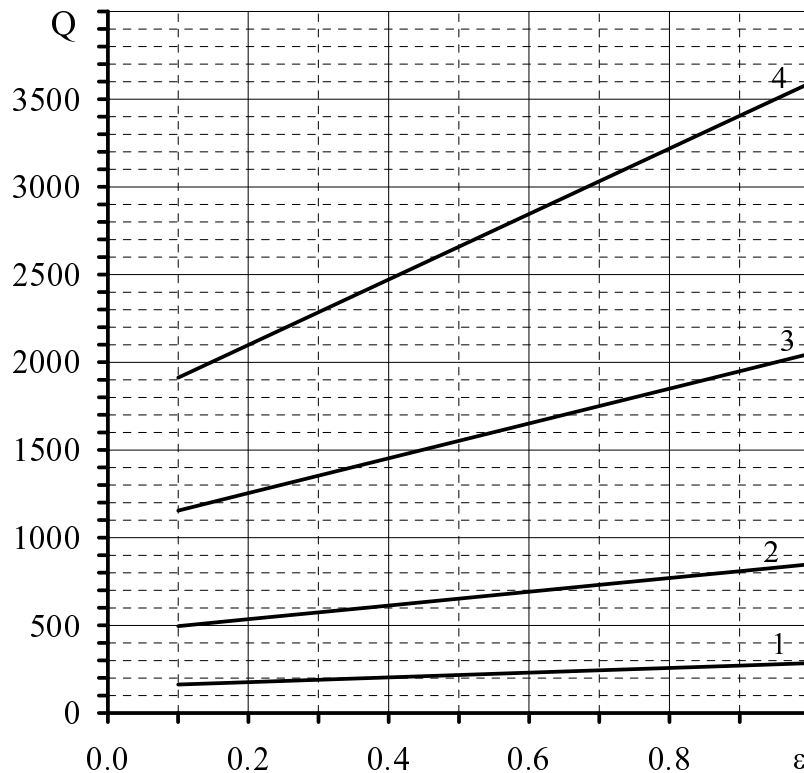


Рис. 2. Зависимость поверхностной плотности мощности Q , Вт/м², рассеиваемой конвекцией и излучением во внешнюю среду, от степени черноты образца ε .

Кривая 1 соответствует температуры образца $T_s = 320$ К; 2 – $T_s = 350$ К; 3 – $T_s = 400$ К; 4 – $T_s = 450$ К

Для расчетов удельных тепловых потоков определялись лучистые и конвективные коэффициенты теплоотдачи по известным методикам [1].

Данные табл. 1 и рис. 1, 2 позволяют определять необходимые мощности электрического нагревателя, обеспечивающие возможность измерений зависимостей степени черноты от температуры при известных размерах образцов.

Научная новизна приведенного подхода измерения степени черноты поверхности твердых тел в полной мере подтверждена в патенте на полезную модель «Устройство для измерения степени черноты» [2], позволяющем выполнить необходимые измерения в газовой среде, допускающей сохранение свойств поверхности при увеличении температуры образцов.

Список используемых источников

1. Дутьнев Г.Н., Семяшкин Э.Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. – Л.: Энергия, 1968. – 360 с.
2. А.с. 123519 РФ. Устройство для измерения степени черноты / М.М. Пеньков, С.И. Ханков, Д.А. Слинченко, И.А. Уртминцев, Е.В. Лаповок (РФ). – Оpubл. 27.12.2012.
3. А.с. 2012100805 РФ. Способ и устройство для определения степени черноты / М.М. Пеньков, С.И. Ханков, Д.А. Слинченко, И.А. Уртминцев, Е.В. Лаповок (РФ). – Оpubл. 29.04.2012.

А.М. Полетаев

кандидат техн. наук, доцент;

Р.Ю. Лазутин

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Изложены современные принципы построения и режимы функционирования космических систем землеобзора на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны. Произведен краткий анализ тенденций развития активных фазированных антенных решеток.

Ключевые слова: бортовой антенный комплекс, активные фазированные антенные решетки, режимы радиолокационного наблюдения.

Высокая информативность радиолокационных (РЛ) данных (РЛД) от космических радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (КРСА), обусловленная более широким набором измеряемых параметров электромагнитного поля (ПЭМП) по сравнению с оптико-электронными (ОЭ) космическими аппаратами (КА), привела к бурному развитию данного класса средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Особенности взаимодействия радиоволн с природными и искусственными объектами РЛ наблюдения (РЛН) и возможность оперативного получения РЛД независимо от времени суток [степени освещенности участка поверхности Земли (ПЗ)] и метеорологических условий (степени облачности) обуславливают приоритетную роль КРСА для решения различных задач военных, научных и коммерческих потребителей [1].

Несмотря на ограниченность современной орбитальной группировки (ОГ) КРСА, достигающей 10–15% от совокупной ОГ КА ДЗЗ, ведущие государства и сообщества на ближайшую перспективу имеют практические планы разработок средств РЛ ДЗЗ, направленных как на реализацию потенциальных возможностей когерентной обработки РЛ сигналов, так и на их комплексирование со средствами ОЭ ДЗЗ, включая формирование оптимальных баллистических структур ОГ КА (рис. 1). Для России с ее разнообразными климатическими факторами и частью территории за полярным кругом (т. е. неблагоприятными условиями для наблюдения в оптическом диапазоне) и широким перечнем тематических задач ДЗЗ (включая такие критически важные, как мониторинг лесных массивов и ледового покрова Арктики) разработка КРСА является насущной и необходимой задачей.

Ключевым элементом, обеспечивающим реализацию тактико-технических характеристик (ТТХ) КРСА и многорежимный характер РЛН, является бортовой РЛ комплекс (БРЛК), включающий антенную систему и обеспечивающие подсистемы. Россия пережила известный временной период (после удачной эксплуатации КА «Алмаз-1» в 1991–1992 гг.), в течение которого разработке КРСА уделялось незначительное внимание. В настоящее время в рамках «Федеральной космической программы» и «Государственной программы вооружений» намечены и реализуются опытно-конструкторские работы по созданию ряда КРСА («Обзор-Р», «Арктика-Р», «Смотр-Р», «Элсар», «Прибор-РЛК»). Результаты военно-научного сопровождения этих проектов показывают, что на предприятиях оборонно-промышленного комплекса часто отсутствуют достаточные научно-методические заделы по разработке методов построения и алгоритмов функционирования БРЛК КРСА, особенно по активным фазированным антенным решеткам (АФАР). Простое заимствование зарубежных практических результатов в области космических систем военного и двойного назначения потенциально опасно и экономически нецелесообразно (особенно в условиях возмож-

ных санкций на поставку импортной элементной базы), а теоретические разработки публикуются в открытом виде неполно, поскольку являются ценным научным ресурсом.

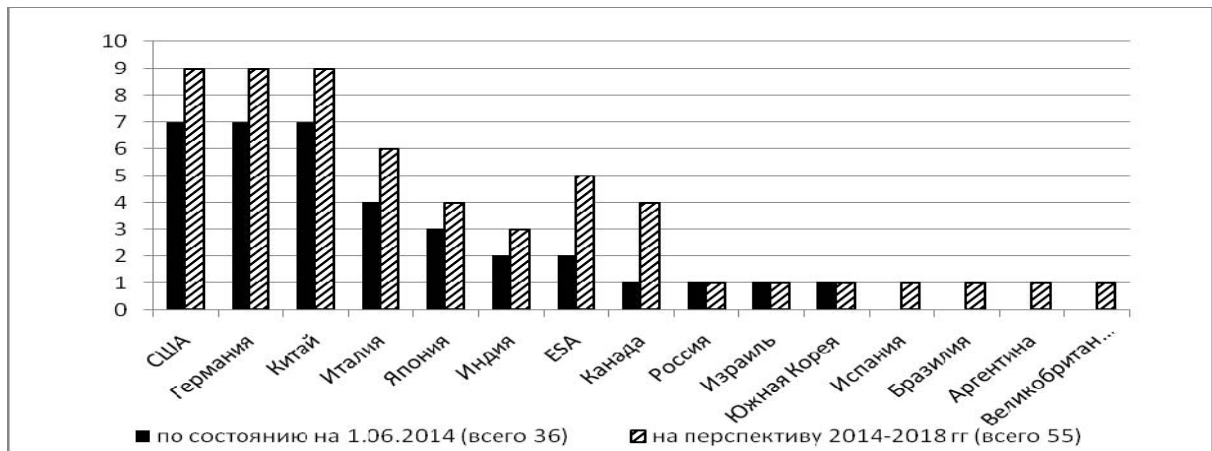


Рис. 1. Распределение КРСА по государствам

В данной статье представлен обзор принципов построения и режимов функционирования типовых БРЛК КРСА, а также указаны направления для повышения информативности РЛД, получаемых с помощью АФАР.

АНАЛИЗ ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ БОРТОВЫХ АНТЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

В соответствии с частотным регламентом комиссии по радиосвязи Международного телекоммуникационного союза ИТУ-Р для спутниковых служб исследования Земли и космических исследований для активной радиолокации из космоса выделено 11 диапазонов, 6 из которых используются для наблюдения ПЗ, а остальные – для наблюдения процессов в тропосфере.

Преимущественное использование выделенных диапазонов определяется проникающей способностью радиоволн: дециметровые диапазоны (Р- и L-) используются для решения природно-ресурсных задач (включая подповерхностное ДЗЗ), сантиметровые (С-, Х- и Ku-) – для наблюдения за объектами на ПЗ. S-диапазон занимает промежуточное положение, т. е. в этом диапазоне можно решать более разнообразные задачи.

Подавляющее число КРСА функционирует в X-диапазоне с наиболее широкой выделяемой полосой частот (до 600 МГц), позволяющей реализовать высокую детальность РЛ изображений (РЛИ) и достаточно малогабаритные антенны (рис. 2, табл. 1).

В настоящее время шесть государств и сообществ имеют КРСА, функционирующие в двух и более частотных диапазонах [6].

Общей закономерностью в конструкции как КРСА, так и других активных средств (КА-ретрансляторов, телекоммуникационных и навигационных КА) является применение крупногабаритных антенн и высокоэффективных систем энергоснабжения КА, использующих габаритные солнечные (СБ) и тяжелые аккумуляторные батареи (АКБ).

В соответствии с уравнением дальности R [1, 5], связывающим мощность отраженного сигнала на входе КРСА $P_{ПРМ}$ и излучаемую мощность $P_{ПРД}$ через характеристики радиоканала [энергетические потери k_R при распространении сигнала в атмосфере (рис. 3)],

$$P_{ПРМ} = \frac{P_{ПРД}}{4\pi R^2} G_{ПРД} \frac{\sigma}{4\pi R^2} A_{ПРМ} k_R \approx \frac{P_{ПРД} D^2}{(4\pi)^2 R^4} k_R \left| D \approx \frac{4\pi d_\Gamma d_B}{\lambda^2} \right. , \quad (1)$$

адекватным техническим решением обеспечения достаточного отношения сигнал/шум (без специальных подсистем охлаждения приемного устройства, что также ведет к увеличению веса КА) является увеличение коэффициента направленного действия (КНД) антенны D и, следовательно, увеличение размеров антенны (горизонтального d_H и вертикального d_B раскрытов) в соответствии с зависимостью от рабочей длиной волны λ .

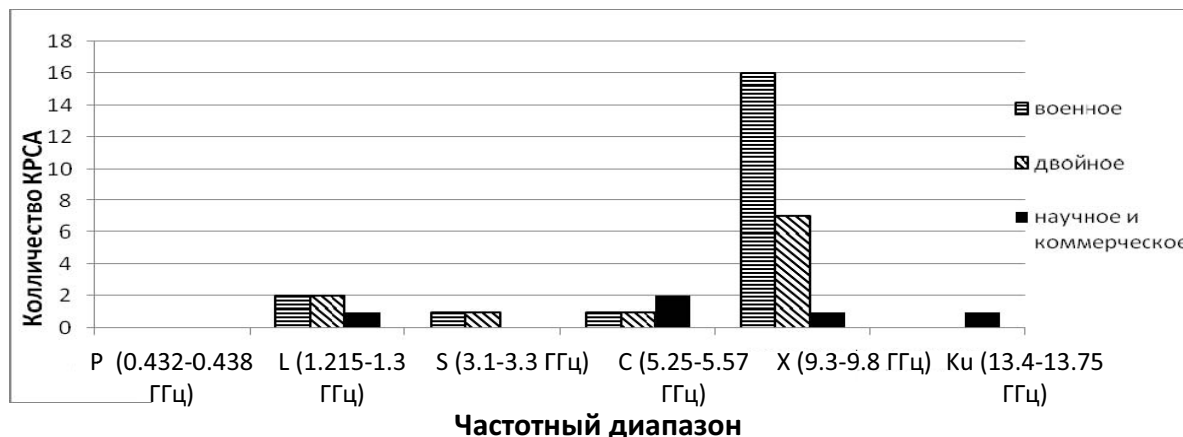


Рис. 2. Распределение действующих КРСА различного назначения по частотным диапазонам

Таблица 1

Технические характеристики современных и перспективных КРСА

Диапазон	КРСА	Высота орбиты, км/ наклонение, °	Тип и размер антенны, м	Число ППМ	Типы и число используемых поляризаций	ЧПИ, кГц
Ku	«Cryosat»	717/92	ПЗА, 1.1x1.2	-	1 и 2 линейных	1.97
X	«TerraSAR-X»	500/97.44	АФАР, 4.8x0.7	384	1, 2 и 4 линейных	3÷6.5
	«SARLupe»	505/98.5	ПЗА, 3.3x2.7	-	1, 2 и 4 линейных	?
	«TecSAR»	550/41	ПЗА, 3x3	-	1, 2 и 4 линейных	?
	«CosmoSkyMed»	619/97.86	АФАР, 5.7x1.4	1280	1 и 2 линейных	2.91÷4.12
C	«Risat-1»	609/97.8	АФАР, 6x2	288	1, 2 и 4 линейных, 2 гибридных	1÷4
	«Sentinel-1»	693/98.18	АФАР, 12.3x1.02	40	1, 2 и 4 линейных	1÷3
	«Radarsat-2»	790/98.6	АФАР, 15x1.5	512	1, 2 и 4 линейных, 2 гибридных	1.27÷1.39
S	«NovaSAR-S»	580/98	АФАР, 3x1	?	1, 2 и 4 линейных	?
	«HJ-1C»	500/97.3	ПЗА, 6x2.8	-	1 линейная	?
L	«ALOS-2»	691/98.16	АФАР, 8.9x3.1	180	1, 2 и 4 линейных, 2 гибридных	1.5–3
	«Terra SAR-L»	630/97.9	АФАР, 11x2.6	160	1, 2 и 4 линейных	?
	«MAPSAR»	620/97.9	ПЗА, 7.5x5	-	1, 2 и 4 линейных	2.66÷5.32
	«SAOCOM-1»	659/98	АФАР, 10x3.5	140	1, 2 и 4 линейных	2.5
P	«P-SAR»	??	АФАР, 22x4	140	1, 2 и 4 линейных	1.7÷1.8
	«BIOMASS»	660/?	ПЗА, 15x12	-	1 и 2 линейных	3.6÷3.8

Заметим, что для КРСА зависимость энергопотенциала от наклонной дальности ($\approx 1/R^4$) более критичная, чем для КА с активным излучением ($\approx 1/R^2$), что в конечном итоге приводит

к ограничению времени РЛН на витке орбиты $\Delta T_{РЛН}$ (до $5 \div 30\%$ длительности периода орбиты) с соответствующим перераспределением энергоресурса КРСА $\mathcal{E}_{КРСА}$ на его освещенной и затененной частях. С учетом типовых высот орбиты КРСА $H=400 \div 1200$ км и реализации бокового обзора дальности РЛН $R = 500 \div 3000$ км, что означает критический характер связи параметров антенны и энергоресурса КА $\Delta T_{РЛН}(R, D, \mathcal{E}_{КРСА})$.

Проектируемые размеры антенн КРСА превышают габаритные размеры головных обтекателей (ГО) ракет-носителей (РН), что обуславливает необходимость их компактного изгото-



Рис. 3. Зависимость величины поглощения сигналов см-диапазона в тропосфере

вления для обеспечения заданной ширины полосы РЛН и меньшей по углу курса для обеспечения заданной ширины доплеровского спектра) приводит к превышению горизонтального размера над вертикальным $d_H > d_V$. На форму и тип конструкции антенной системы в определяющей мере влияет частотный диапазон и набор реализуемых режимов РЛН, а также размер ГО РН (в конечном итоге стоимость самого КРСА и его запуска). С ростом длины волны сигнала возрастает площадь антенны для обеспечения требуемого КНД D (1), что и обуславливает многократность ее развертывания и особые требования к надежности механической конструкции (рис. 4). Для ПЗА эта зависимость более критична, что отражает, по всей видимости, недостаточно эффективное использование раскрытия, однако преимущества легкого веса приводят к тому, что до 30 % запускаемых КРСА оборудуются ПЗА. ПЗА, как правило, имеют эллипсоидальную форму, при этом в целях предотвращения деградации поверхности сеточной антенны под воздействием солнечного излучения и космического пространства по периметру предусматриваются дополнительные ребра жесткости с возможностью регулирования натяжения и/или компенсации провисания. В ряде КРСА длинноволнового диапазона без реализации прожекторного режима получают распространение раскрываемые ПЗА $\varnothing = 12 \div 16$ м («*TanDEM-L*», «*BIOMASS*», «*NISAR*»). Видимо, конструкция подобной раскрываемой ПЗА «*AstroMesh*» телекоммуникационных КА «*Alphasat/Inmarsat-4A F4*», «*Thuraya-2*» и «*MBSat-1*» с усиленной жесткостью и точностью образования отражающей поверхности до долей мм, $\varnothing = 11$ м и весом всего 60 кг подтвердила высокие эксплуатационные свойства в условиях космического пространства, что и послужило причиной широкого использования подобных разработок в перспективных КРСА (рис. 5).

Для существенного снижения удельного веса АФАР с $10 \div 20$ кг/м² до $1 \div 3$ кг/м² в ряде проектов космических агентств рассматриваются гибкие (мембранные) многослойные структуры, совмещающие излучающую поверхность с приемопередающими модулями (ППМ) печатного монтажа, при этом дополнительное снижение веса достигается использованием в качестве несущей рамы АФАР трубчатых конструкций, образуемых при развертывании и вытягивании металлизированных лент (рис. 6).

товления и последующего развертывания на орбите (как и крупногабаритных СБ). Анализ существующих и перспективных антенных систем КРСА показывает, что разработки ведутся по трем типам конструкции – рефлекторных/зеркальных антенн (ПЗА) с сеточным или сплошным параболическим отражателем и с облучателями в виде многосекционных рупоров или малогабаритных АФАР, крупногабаритных АФАР и мембранных АФАР.

Необходимость формирования различной ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) в вертикальной и горизонтальной плоскостях (большой по углу

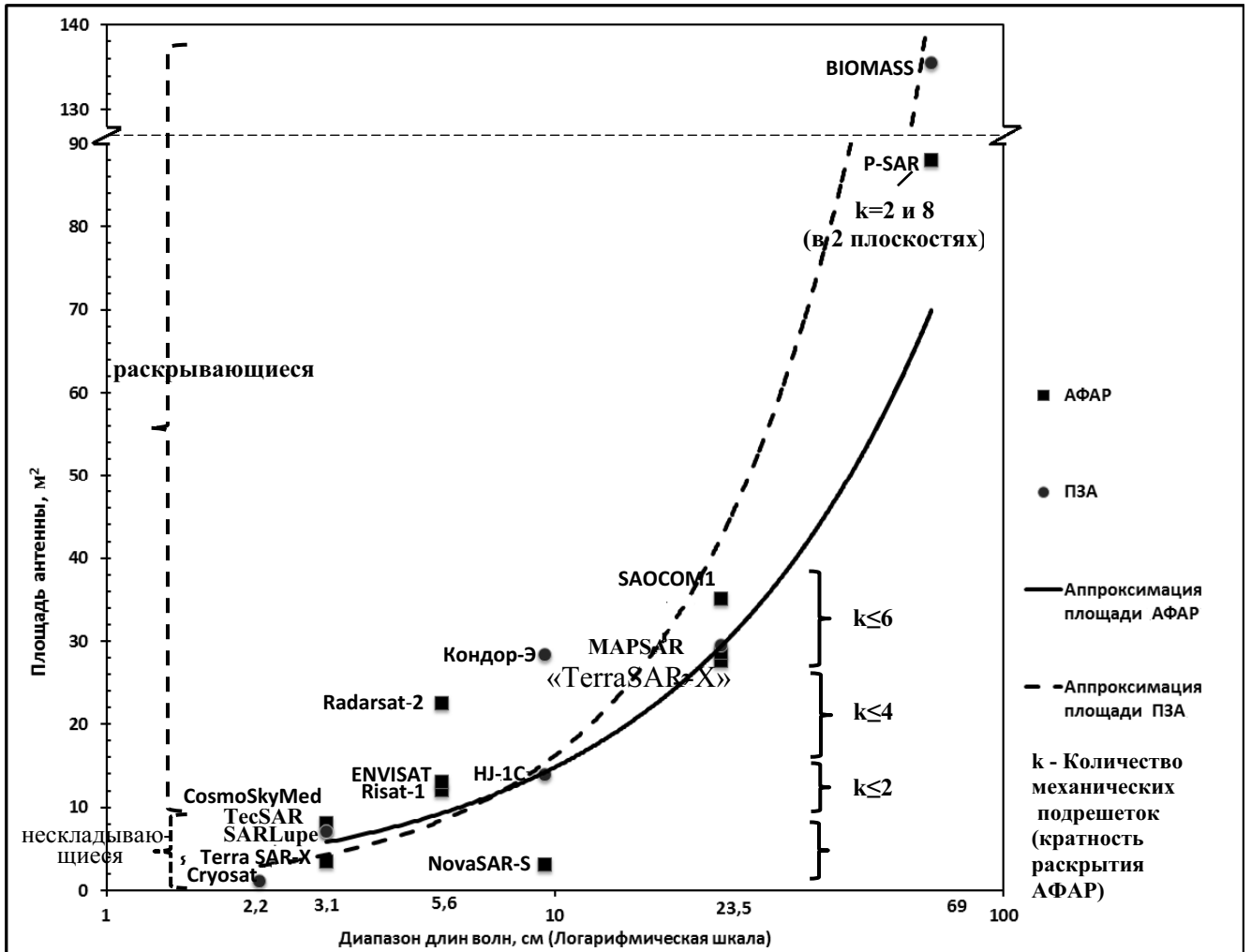


Рис. 4. Зависимость размеров ПЗА и АФАР от длины волны сигнала

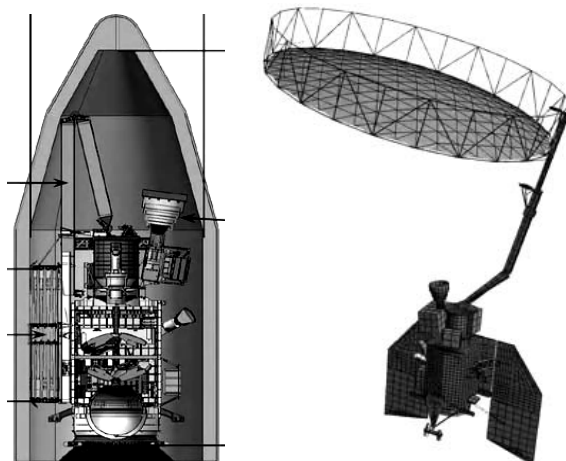


Рис. 5. Размещение КА США «SMAP» с совмещенным КРСА и СВЧ-радиометром L-диапазона под ГО РН (слева) и форма раскрытой ПЗА Ø=6 м

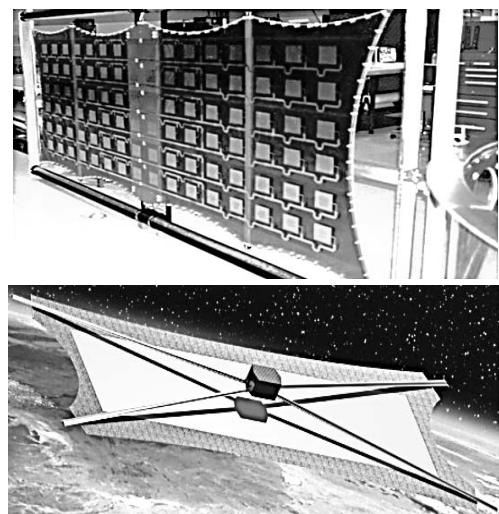


Рис. 6. Проекты мембранных АФАР NASA 3.3x1.5 м (сверху) и ESA 12x3 м (возможно до 16x4.5 м)

Подавляющее число КРСА оборудуются крупногабаритными АФАР с $5 < d_f < 22$ м, позволяющими реализовать эффективное управление формой и ориентацией ДНА при РЛН ПЗ, формировать парциальные ДНА в различных интерферометрических режимах и обеспечить высокую развязку поляризационных каналов при приеме отраженного сигнала [3, 5]. Форма раскрыва АФАР в большинстве случаев является строго прямоугольной с «сеточным» размещением панелей с ППМ; в АФАР КРСА «CosmoSkyMed» ПММ расположены «кирпичной укладкой» для более равномерного распределения энергии и соответствующего снижения требований к пиковому уровню излучения; в некоторых КРСА («ALOS-2», «AstroSAR-UK») АФАР выполняется в эллиптической форме в целях одновременного снижения веса и сохранения требуемых режимов РЛН (рис. 7).

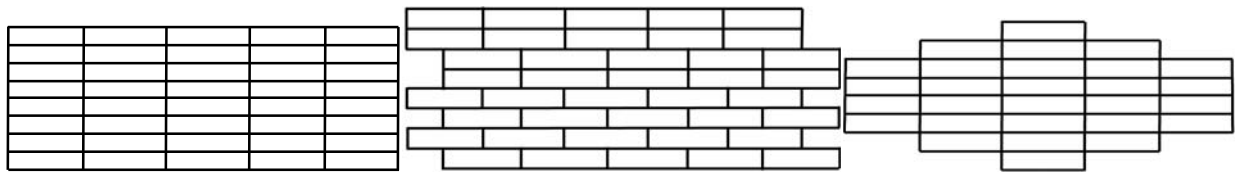


Рис. 7. Варианты конструкции крупногабаритных АФАР

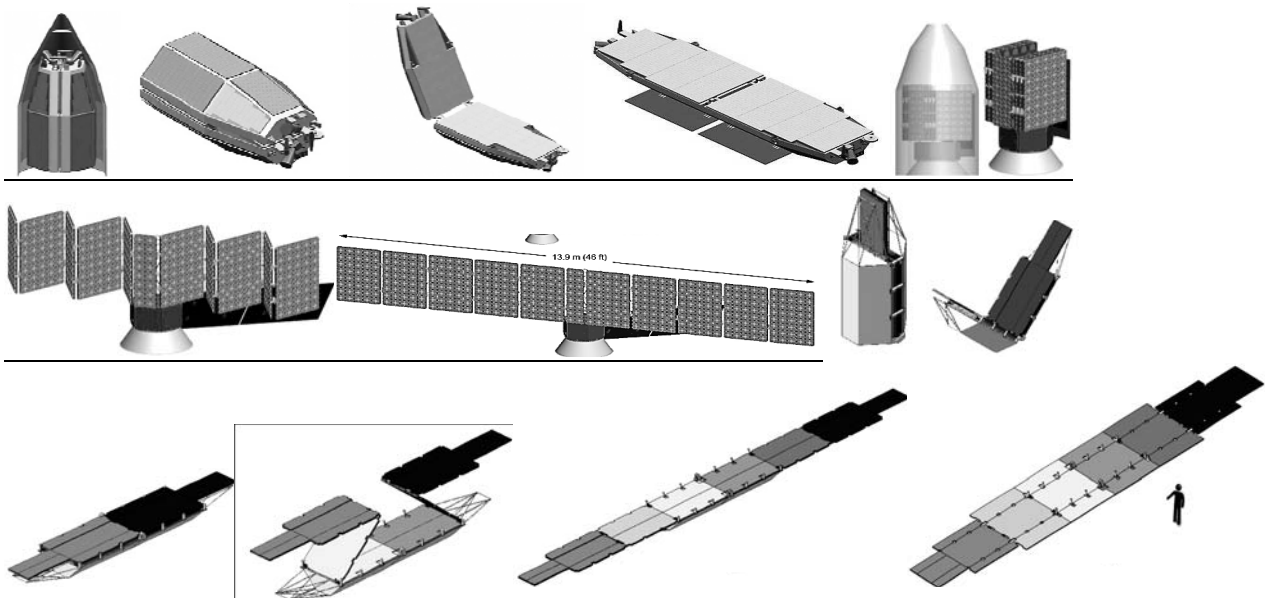


Рис. 8. Размещение КРСА под ГО РН и варианты разворачивания АФАР (сверху вниз): при размещении на корпусе КА (КРСА «AstroSAR-UK», «TerraSAR-L»), по горизонтальному размеру (большинство КРСА), по горизонтальному и вертикальному размерам (КРСА «P-SAR»)

АФАР выполняется на основе ППМ (электрически и механически обособленных панелей с излучающими элементами на основе транзистора мощностью до 10–15 Вт), совокупность которых (несколько сотен-тысяч, в зависимости от частотного диапазона) конструктивно определяет ее механическую конструкцию, включая форму и способ разворачивания на орбите после запуска КРСА. Подобный подход позволяет реализовывать полное или частичное задействование ППМ АФАР для формирования одной или нескольких парциальных ДНА, в том числе компенсировать отказ некоторых ПММ или нештатное разворачивание и/или фиксацию АФАР с созданием требуемого амплитудно-фазового распределения (АФР) на раскрыве. Типовая дис-

кретность управления амплитудой и фазой в аттенюаторах и фазовращателях ППМ составляет доли-единицы процентов и единицы градусов соответственно. Предварительный расчет режимов РЛН при проектировании КРСА для заданных параметров орбиты, как правило, выражается в априорном определении АФР для десятков-сотен вариантов углового положения ДНА и ее КНД. Поэтому при выводе КРСА на орбиту с нерасчетными параметрами подобное модульное построение АФАР позволяет адаптировать ее к новым условиям РЛН. Кроме того, периодическая техническая диагностика параметров радиометрической и фазовой стабильности модульной АФАР может быть выполнена методом поэлементного контроля.

Для АФАР характерно несколько способов механического развертывания. Незазвертываемая конструкция с $d_r < 5-6$ м с размещением вдоль борта КА (КРСА «TerraSAR-X», «TanDEM-X») реализуется, как правило, в X-диапазоне, требующим меньшие размеры антенн. АФАР, развертываемая одновременно с корпусом КА (как и предыдущий способ), обладает большей управляемостью при переориентации КА и практическим отсутствием упругих колебаний конструкции (см. рис. 8). АФАР, раскладываемая по горизонтальному размеру раскрыва, характерна для большинства КРСА всех диапазонов, при этом центральная часть АФАР крепится к корпусу КА, обеспечивая необходимую жесткость конструкции. Кратность развертывания определяется габаритами КА под ГО РН. При больших габаритах АФАР с обратной стороны антенного раскрыва предусматриваются фиксирующие штанги. Размер АФАР, разворачиваемой по горизонтальному и вертикальному размерам раскрыва, ограничивается не только высотой ГО РН, но и его диаметром.

АНАЛИЗ ТИПОВЫХ РЕЖИМОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Современные КРСА оборудуются одной антенной системой (как правило, одночастотной) с возможностью электронной переориентацией ДНА по углу крена $\Delta\gamma \sim \pm 20^\circ$ для выбора полосы РЛН в полосе обзора и по углу курса $\Delta\phi \sim \pm 3 \div 5^\circ$ для реализации прожекторного режима; механической переориентации ДНА с одной стороны обзора на другую поворотом корпуса КА или штанги в течение $3 \div 10$ мин. Режимы РЛН КРСА определяются сочетанием угловой ориентации и формы ДНА (ее КНД), параметров излучаемых импульсов (ширины спектра, частоты повторения импульсов (ЧПИ), поляризации, мощности) и параметров приема отраженных сигналов (поляризации, величины задержки и длительности строба, числа парциальных ДНА). Программно-алгоритмическое управление этими техническими параметрами БРЛК и последующий синтез РЛИ позволяет реализовывать заданные ТТХ КРСА (ширину полосы РЛН, пространственное и радиометрическое разрешение, поляризационный базис и развязку каналов). Требуемая форма ДНА АФАР достигается соответствующим АФР на раскрыве, реализуемым совокупностью ППМ с независимым управлением коэффициента усиления, фазы и поляризации. Дискретизация усиления и фазы модулей АФАР и их количество позволяют оперативно изменять ориентацию, коэффициент усиления и ширину ДНА и формировать множество ДНА за счет алгоритмического разделения АФАР на подрешетки (табл. 2; выделены режимы, доступные в ПЗА). Ряд режимов РЛН в ПЗА недоступен вследствие отсутствия технической возможности независимого управления АФР по раскрыву [3].

Все режимы КРСА осуществляются при боковом обзоре, т. е. реализуются при направлении ДНА в направлении, близком к перпендикулярному к трассе КА. Однако в ряде зарубежных РЛ высотометров (РЛВ) и профилометров (РЛП), проводящих съемку в районе надира (углы места $90 \div 85^\circ$ и $90 \div 70^\circ$ соответственно), реализован интерферометрический режим *SARIn*, позволяющий существенно повысить разрешающую способность (с размера пятна ДНА на ПЗ $8 \div 15$ км до $200 \div 250$ м вдоль трассы). Это достигается при использовании одной (КА ESA «Sentinel-3» с РЛВ «SAR Radar Altimeter») или двух ПЗА (КА ESA «CryoSat-2» с РЛВ «SAR Interferometer Radar Altimeter»), а также АФАР (КА NASA/JAXA «TRMM» и «DPR» с РЛП) с формированием многолучевой ДНА и реализацией когерентной обработки сигнала. Реализа-

ция подобного голографического режима РЛН в районе надира на базе двух подрешеток АФАР или двух ПЗА позволит получить разрешающую способность РЛИ, аналогичную широкополосному режиму.

Таблица 2

Режимы РЛН КРСА

Количество формируемых ДНА	Количество антенн (точек излучения и приема) и характеристики режимов РЛН					
	Одна			Две и более		
	Режимы РЛН КРСА/количество угловых положений ДНА	Ширина полосы РЛН, км	Разрешающая способность по координатам, м/по скорости, м/с	Режимы РЛН КРСА	Ширина полосы РЛН, км	Разрешающая способность по координатам, м/по скорости, м/с
Одна	Полосовой (маршрутный)/ 5÷7 (по углу крена)	20÷160	2÷15/-	Двухпроходная поперечная интерферометрия	20÷160	2÷15/-
	Некогерентный (глобальный)/1	500÷900	800÷1000/-			
	Прожекторный /50÷350 (по углу курса)	5×5÷10×10	0.25÷1/-			
Две и более	Широкополосный/ 5÷7 (по углу крена)	300÷500	50÷150/-	Продольная интерферометрия	20÷100	-1÷20
	Прожекторный /50÷350 (по углам крена и курса)	500÷900	800÷1000/-	Однопроходная поперечная интерферометрия	40÷200	1÷4/-
	Скаттерометрический/ >3 (по углам крена и курса)	300÷500	-/3÷30	Продольная и поперечная интерферометрия	40÷200	1÷4/1÷20
	Волновой/ 2 (по углу крена)	5×5÷5×10	30×30/-			

Вследствие импульсного режима КРСА возникают ограничения на величину ЧПИ и соответственно на ширину полосы РЛН, поэтому разрешение неоднозначностей по дальности и по азимуту выполняется формой ДНА и последующим синтезом РЛИ. Реализация многолучевой ДНА в АФАР требует тщательной оптимизации «геометрических» показателей (ширины полосы РЛН, разрешающей способности, числа некогерентных накоплений) и технических характеристик (ЧПИ и их длительности, угловой ориентации и ширины ДНА, положения и длительности стробов приема отраженных импульсов) по критерию снижения неоднозначности при одновременном сохранении целевых показателей, а также существенного повышения точностей баллистико-навигационного обеспечения полета КРСА и определения относительного положения в групповом варианте («*TerraSAR-X/TanDEM-X*» «*CosmoSkyMed-1/-2*»). Практическим следствием реализации в БРЛК многорежимной и многополяризационной АФАР с многоканальной обработкой является высокий темп поступления РЛД (с мгновенной скоростью до единиц Гб/с), что предъявляет повышенные требования к подсистеме регистрации КА (к объему бортового запоминающего устройства и пропускной способности радиоканалов передачи РЛД).

Следует отметить, что в новейших зарубежных КРСА («*ALOS-2*», «*Radarsat-2*») ППМ АФАР реализуются на базе *GaN*-технологий (соединений нитрида галлия в монолитных

интегральных схемах СВЧ-диапазона), которые по сравнению с традиционными *GaS*-соединениями (арсенида галлия) имеют технические показатели в среднем на порядок выше (мощность излучения, широкополосность, радиационную стойкость, температурную устойчивость, габариты и вес). Поэтому данное направление совершенствования элементной базы, во-первых, способствует разработке более легких и компактных АФАР с возможностью реализации многочастотного режима РЛН (что непосредственно снижает стоимость запуска КРСА) и, во-вторых, позволяет увеличивать максимальную дальность R РЛН (т. е. расширять полосу обзора путем смещения ее дальней границы), а для P - и L -диапазонов – более эффективно решать задачи подповерхностного ДЗЗ.

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ

Информативность как сочетание прагматических, синтаксических и семантических показателей РЛД связана с оперативностью их получения и когерентным характером обработки сигналов. Наиболее ценными данными от КРСА, недоступными в других средствах ДЗЗ, являются измерения фазовых и поляризационных компонент отраженного сигнала, расширяющие размерность признакового пространства при дешифрировании объектов по их РЛИ [2].

Поперечный интерферометрический режим РЛН предназначен для формирования цифровых матриц рельефа (ЦМР), что также реализуется при стереоскопической съемке ОЭ КА ДЗЗ, но с худшими точностными показателями из-за обработки амплитудных (яркостных), а не фазовых признаков как в КРСА. Продольный интерферометрический режим РЛН (англ. *ATI – Along Track Interferometry*) ориентирован на селекцию движущихся целей (СДЦ, англ. *MPI – Moving Target Indication*) с определением составляющих скорости их перемещения. В отличие от прожекторного и полосового режимов РЛН с формированием РЛИ ПЗ, на которых в основном проявляется влияние радиальной составляющей скорости в форме азимутального смещения РЛИ движущихся объектов, в режиме *ATI* реализуется технология адаптивной пространственно-временной обработки (англ. *STAP – Space Time Adaptive Processing*) для одновременного устранения фона ПЗ и определения полного вектора скорости за счет перераспределения энергии отраженных сигналов в основном и боковых лепестках ДНА. Одним из вариантов режима *ATI* с *STAP* является реализация смещенного фазового центра антенны (англ. *DPCA – Displaced Phase Center Antenna*), при котором наблюдение одного и того же участка ПЗ производится из одной и той же точки пространства, но разными ДНА через некоторое время пролета КРСА (доли единицы мс, т. е. в пределах горизонтального раскрыва АФАР d_T). Как правило, алгоритмически формируются два-три независимых приемных канала от парциальных ДНА подрешеток АФАР, разнесенных по направлению движения КРСА на некоторую базу d_{II} , в том числе и за счет очередности приема и излучения с них (рис. 9).

Размер реализуемой базы d_{II} является ограничивающим фактором в определении диапазона (пороговых значений) и точности измеряемых скоростей объектов с априорно известными отражающими характеристиками. Например, в КРСА «*TerraSAR-X*» с $d_T = 4.8$ м при $d_{II} = 1.2$ м происходит сужение ширины обрабатываемого доплеровского спектра и соответствующее ухудшение пространственной разрешающей способности до 1–2 км, поэтому данный режим используется для определения скорости морских течений. В КРСА «*Radarsat-2*» в режиме *ATI/MODEX* с $d_T = 15$ м при $d_{II} = 3.75$ м реализуется измерение скоростей объектов свыше 5 м/с с различной точностью по составляющим: по радиальной – ± 0.3 м/с, по тангенциальной – ± 4.0 м/с. Преодоление ограничений в величине реализуемой «жесткой» базы (горизонтального размера АФАР $d_T > d_{II}$) выражается в групповом полете двух однотипных КРСА с АФАР с формированием «мягкой» базы – относительного расстояния между ними до десятков-сотен метров, при этом угловой ориентацией базы можно целенаправленно управлять по мере полета по орбите, создавая условия для продольной и поперечной интерферометрии для заданных широт ПЗ. Это позволяет расширить комбинации вариантов деления двух АФАР на излучение и на прием и перейти к реализации СДЦ не только площадных, но и сосредоточенных объектов со скоростями до 10–50 м/с,

а также достигать более высоких точностей ЦМР. Реализация подобных интерферометрических методов требует точного учета тангенциальной $V_T = V_{KPCA} \pm V_{3Y} \approx V_{KPCA} \pm V_{3\Omega} \cos i$ ($V_{3\Omega} \approx 465$ м/с) и радиальной $V_{3X} = V_{3\Omega} \cos B \cdot \cos \beta_X$ составляющих относительной скорости перемещения КРСА V_{KPCA} и участка ПЗ V_3 , определяемых высотой и наклоном i орбиты, направлением витка, стороной обзора и географической широтой B наблюдаемого участка ПЗ (рис. 10), т. е. необходима адаптация технических характеристик БРЛК (ЧПИ, формы ДНА и т. д.) к текущему положению КРСА на орбите.

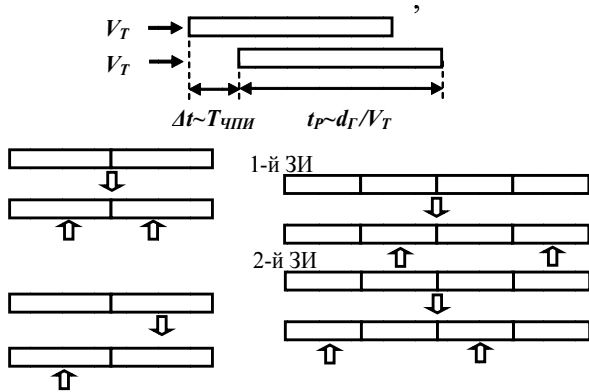


Рис. 9. Варианты разделения АФАР на две (слева) и четыре подрешетки и варианты излучения и приема в режиме продольной интерферометрии

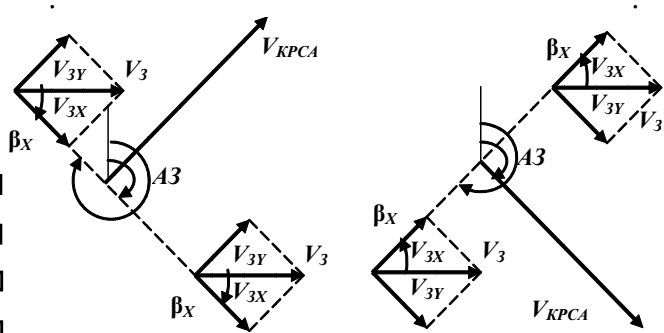


Рис. 10. Ориентация составляющих скорости вращения ПЗ для наклонной орбиты КРСА на восходящем (слева) и нисходящем витках

Повышение числа реализуемых поляризационных каналов КРСА в условиях ограничения ЧПИ (для устранения неоднозначности по дальности и по азимуту при импульсном излучении) приводит к пропорциональному уменьшению ширины полосы РЛН ΔR (рис. 11). Разрешением этого противоречия является изменение поляризационного базиса сигналов при излучении и приеме: выполнение приема линейных поляризаций (вертикальной [В, англ. V] и горизонтальной [Г, англ. H], т. е. ортогональных 90° и 0°) при излучении «компактной» поляризации (иначе гибридной, англ. CP) – круговой (с правым или левым вращением) или линейной с наклоном 45° . Реализация круговой поляризации позволяет дополнительно уменьшать эффект Фарадея (частично компенсировать поворот плоскости поляризации) в P - и L -диапазонах.

Таким образом, в линейном поляризационном базисе возможно получить четыре составляющих комплексной матрицы рассеяния объектов РЛН (с учетом когерентности – три амплитуды на ГГ, ГВ и ВВ поляризациях и две разности фаз на ВВ и ГВ поляризациях), характеризующих три основных механизма отражения – однократное, двухкратное и многократное (объемное).

При переходе к обобщенным показателям распознавания РЛИ – энтропии H (степени хаотичности отражения), углу рассеяния α (типу отражающих элементов с преобладающей ориентацией) и анизотропии рассеяния – удастся разделить наблюдаемые объекты на 9 классов всего лишь по геометрическим характеристикам (высоте, угловой ориентации и шероховатости) (рис. 12).

Привлечение пространственно-логических связей объектов ПЗ (структурных признаков) повышает вероятность их распознавания. Естественно, применение подобных методов дешифрирования влечет за собой предъявление жестких требований к радиометрической и фазовой стабильности и поляризационной развязки каналов АФАР КРСА.

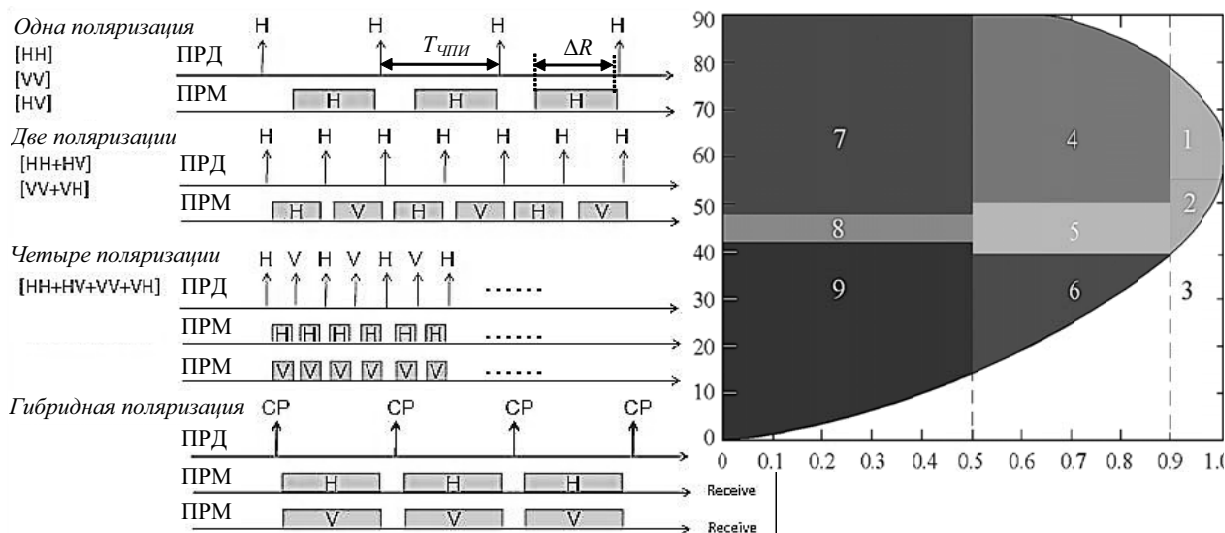


Рис. 11. Влияние ЧПИ на ширину полосы РЛН при многополяризованном режиме

Рис. 12. Разделение классов объектов, наблюдаемых при многополяризованном режиме, по признаку механизма отражения (энтропии $0 < H < 1$ и угла рассеяния $0^\circ < \alpha < 90^\circ$)

ВЫВОДЫ

БРЛК КРСА с многочастотной и многополяризованной АФАР является средством ДЗЗ, адекватным решению широкого круга тематических задач.

При проектировании и применении БРЛК с АФАР как сложного и соответственно дорогостоящего технического комплекса (до 40–50 % от стоимости КРСА) необходима поэтапная оптимизация его характеристик по критериям организационного, программно-алгоритмического и технического характера как при математическом и полунатурном моделировании, так и в ходе стендовых и летно-конструкторских испытаний.

Обоснование частотного диапазона и режимов РЛН должно учитывать требования целевых групп потребителей РЛД.

Центральной задачей является разработка АФАР и алгоритмов формирования и управления многолучевыми ДНА для реализации ТТХ, задаваемых различными потребителями.

Список использованных источников

1. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Турук. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. Полетаев А.М. Информологический анализ космических радиолокационных систем. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 214 с.
3. Imbriale W.A., Gao S., Bocci L. Space Antenna Handbook. – Wiley, 2012. – 768 p.
4. Lee J.S., Pottier E. Polarimetric Radar Imaging. – Artech House, 2009. – 342 p.
5. Pillai S.U., Li K.Y., Himed B. Space Based Radar. – McGraw-Hill Companies, 2008. – 434 p.
6. URL: <http://www.eoportal.org>.

Р.В. Суворов

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ОСНАЩЕННОГО СПЕЦИАЛЬНЫМ БОРТОВЫМ КОМПЛЕКСОМ

Показана актуальность обоснования рациональных параметров системы энергоснабжения космического аппарата, оснащенного лазерным комплексом защиты с высоким энергопотреблением. Разработана имитационная агрегативная математическая модель системы энергоснабжения. Представлен алгоритм обоснования рациональных параметров.

Ключевые слова: космический аппарат, система энергоснабжения, рациональные параметры, агрегативная модель.

Одной из задач, решаемых Войсками воздушно-космической обороны РФ, является поддержание требуемого уровня стойкости отечественных средств ракетно-космического вооружения к воздействию факторов околоземного космического пространства, в частности, крупных частиц космического мусора и астероидов.

Перспективным способом решения этой задачи является оснащение космического аппарата бортовым защитным комплексом на основе импульсного лазера оптического диапазона для уничтожения или отведения с опасной траектории угрожающих объектов. Предварительные оценки энергетики воздействия лежат в диапазонах энергии излучения порядка $2-4 \cdot 10^4$ Дж для микрометеоритов.

Очевидно, что применение бортового лазерного комплекса устройств защиты [далее – специальный бортовой комплекс (СБК)] сопряжено с энергопотреблением, значительно превышающим штатное энергопотребление бортовых систем КА, и влечет серьезное переустройство энергетической системы КА для обеспечения бесперебойного энергоснабжения как потребителей целевой и служебных систем КА в штатном режиме функционирования, так и СБК в импульсном режиме, обусловленном параметрами внешних факторов.

Существующие методики расчета параметров энергетической системы КА позволяют выполнить выбор аргументов в пользу той или иной конфигурации, основываясь на аналитических зависимостях, вытекающих из выполнения условий энергетического баланса системы на конец срока активного функционирования КА.

Цель данной работы – показать алгоритм обоснования рациональных параметров СЭС, основанный на представлении системы агрегативной моделью – структурой кусочно-линейных агрегатов, взаимодействующих через вектор-матрицу оператора сопряжения [1, 2]. Динамика агрегативной системы определена последовательностью смены состояний агрегатов, в соответствии с концепцией алгоритмической модели динамической сложной технической системы. Преимущества данного метода заключаются в универсальности модели, обусловленной гибкостью варьирования структуры модели, а также удобством реализации модели в машинном эксперименте на ЭВМ.

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ АГРЕГАТИВНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В основе СЭС КА лежит комплекс энергопреобразующих устройств, состоящий из первичного источника тока – солнечной батареи (СБ) и накопителей – химических аккумуляторных батарей (АБ), конденсаторов, маховичных накопителей и пр., объединенных бортовой кабельной сетью. Взаимодействие элементов СЭС обусловлено алгоритмами

функционирования промежуточных подсистем комплекса автоматики и стабилизации (КАС), условно разделенных на устройства автоматики регулирования и контроля (АРК) и преобразователи энергии. Связь с внешней средой ограничивается полюсами системы и определяется законами распределения и аналитическими зависимостями, описывающими параметры энергии на входе в систему и на выходе из нее.

Очевидно, что СЭС КА является сложной технической системой с многоуровневой многопоточной схемой, обладающей как детерминированными, так и стохастическими свойствами. В данном случае целесообразно моделировать СЭС как обобщенную агрегативную структуру. Такой подход позволяет обеспечить, с одной стороны, гибкость детализации модели, и, с другой стороны, универсальность модели за счет ее «модульной» структуры.

Общий алгоритм разработки модели обобщенной структуры представлен на рис. 1.

Исходными данными для моделирования являются множества, описывающие параметры функционирования системы, представленные в обобщенном виде для описания входных (1) и выходных (2) сигналов для полюсов системы.



Рис. 1. Алгоритм концепции построения модели СЭС КА

$$X_0(\tau) = f(X(\tau_0); V(\tau_0); Z_0); \tag{1}$$

$$Y_0(\tau) = f(X(\tau); U(\tau); V(\tau); Z), \tag{2}$$

где τ – момент времени, $\tau \in T$;

τ_0 – момент времени исходного состояния, $\tau_0 \in T$ (T – множество моментов времени);

$U(\tau)$ – оператор линейного процесса;

$V(\tau)$ – оператор изменения состояний системы;

Z – множество состояний системы.

Основной элемент агрегативной системы – кусочно-линейный агрегат A (далее – агрегат) [3]. Каждый агрегат системы характеризуется множествами входных и выходных сигналов, состояний и моментов времени, а также операторами линейного процесса и перехода состояний агрегата (3). Это позволяет представить в модели детерминированные и стохастические объекты, функционирующие как в непрерывном, так и в дискретном времени.

$$A_{nm} = \langle X, Y, Z, Z^*, T, U, V \rangle_{nm}, \quad (3)$$

где X – множество входных сигналов, поступающих в агрегат;

Y – множество выходных сигналов;

Z – множество состояний агрегата;

Z^* – множество особых состояний;

T – множество моментов времени;

U – оператор линейного процесса;

V – оператор перехода состояний.

Последовательность переходов агрегатов модели в новое состояние описывают процесс функционирования системы. При этом состояние агрегата может изменяться линейно при отсутствии входных сигналов, или скачкообразно при поступлении входного сигнала на агрегат. Скачок – переход из состояния $z(\tau_n)$ в состояние $z(\tau_{n+1})$ за малый интервал времени. Оператор перехода V описывает переход агрегата в новое состояние при поступлении сигнала x :

$$z(\tau^* + 0) = V(\tau^*, z(\tau^*), x).$$

На интервале линейного функционирования без поступления входных сигналов поведение агрегата описывает оператор U :

$$z(\tau) = U(\tau, \tau^*, z(\tau^* + 0)).$$

Множество состояний Z описывает как состояния агрегата $z_n \in Z$ между моментами поступления внешних сигналов, так и особые состояния $z_n^* \in Z^* \subset Z_B$ в момент поступления внешнего сигнала (особый момент времени τ^*). При этом выходной сигнал y зависит только от состояния z_τ , а выходной сигнал y^* зависит как от состояния z_τ^* , так и от поступившего в момент τ^* сигнала x [4].

Внутренние связи между агрегатами заданы оператором сопряжения R , представляющим собой матрицу элементарных каналов взаимодействия между агрегатами. Каждому элементу матрицы соответствует пара контактов взаимодействующих агрегатов, заданных законом распределения или функцией, описывающими процесс преобразования энергии агрегатом:

$$\forall A_{mn} \exists y \in Y(X, \tau) = R(y_{mn}(\tau)) \in Y(X, \tau).$$

Оператор R задается после построения структуры функциональных связей агрегатов на основе информации о принципах функционирования системы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ОСНАЩЕННОГО СПЕЦИАЛЬНЫМ БОРТОВЫМ КОМПЛЕКСОМ

Детализация модели определяется минимальным количеством уровней декомпозиции системы, необходимых для адекватного представления процесса ее функционирования для решения поставленной задачи. Для решения задачи синтеза параметров системы на этапе анализа выбрана декомпозиция до структурных элементов подсистем 2-го уровня. На этом уровне в модели задействуются все значимые узлы преобразования энергии в системе, а при

необходимости каждый элемент может быть представлен как подсистема и, в свою очередь, разбит на элементы.

Декомпозицию системы для анализа можно выполнить по нескольким типовым свойствам. В данном случае целесообразно разбить систему на подсистемы по типу преобразования энергии, получая четыре подсистемы со следующей индексацией:

- A_1 – первичные источники тока;
- A_2 – накопители;
- A_3 – АРК, A_4 – преобразователи (рис. 2).

Соответственно выбранному уровню детализации, элементы подсистем 2-го уровня представлены агрегатами:

- A_{31} – зарядное устройство (ЗУ);
- A_{32} – разрядное устройство (РУ);
- A_{41} – регулятор напряжения (РН);
- A_{42} – низковольтный преобразователь (НП) [3].

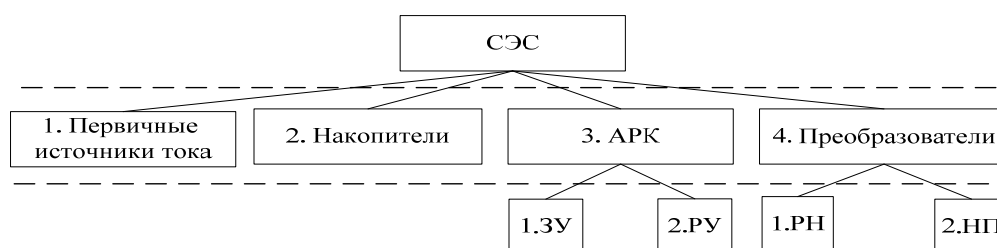


Рис. 2. Схема декомпозиции СЭС КА

Исходные данные модели СЭС – параметры функционирования КА, заданные при проектировании и обусловленные его целевым назначением, в части, касающейся энергетики аппарата:

- максимальное энергопотребление КА N_{\max} ;
- минимальное энергопотребление КА N_{\min} ;
- средневитковое энергопотребление КА $N_{\text{ср}}$;
- период обращения КА $T_{\text{обр}}$;
- время на теневом участке орбиты t_T ;
- параметры орбиты КА;
- требуемая вероятность бесперебойной работы СЭС $P_{\text{СЭС,тр}}^{\text{БП}}$;
- КПД и статистические параметры функционирования элементов СЭС;
- требования к энергопотреблению СБК.

Внешние функциональные связи СЭС представлены законами распределения энергии на входе – параметрами светового потока, падающего на поверхность СБ, и на выходе – параметрами энергопотребления потребителей.

Обобщенная функциональная схема СЭС представлена на рис. 3. Агрегаты обозначены индексами в соответствии со схемой декомпозиции (рис. 2).

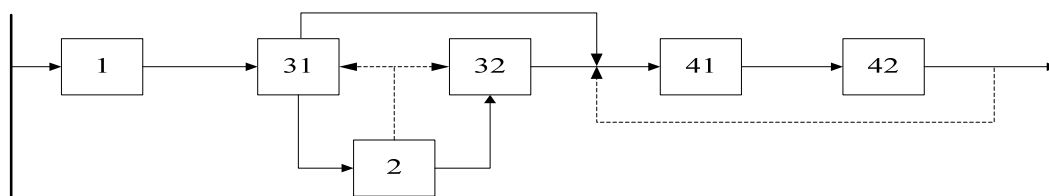


Рис. 3. Обобщенная функциональная схема СЭС КА

Пунктирными линиями показаны связи управляющего контура АРК, задать которые целесообразно системами условий, описывающих множества событий, соответствующих переходу СЭС в режимы функционирования.

Функциональные связи между агрегатами подчинены целевому назначению СЭС – обеспечению электроэнергией систем КА. Составляющими функциональной связи являются функции мощности тока, генерируемого СБ, и распределения вероятности безотказной работы агрегата. Информационные связи управляющего контура АРК являются фиктивными в энергетическом смысле, они задаются условиями перехода состояний. Тогда обобщенная функциональная схема СЭС может быть преобразована в схему структуры функциональных связей агрегатов (рис. 4). Первичным сигналом для агрегата A_1 является вектор распределения интенсивности светового излучения на площади СБ, или освещенность СБ W_0 .

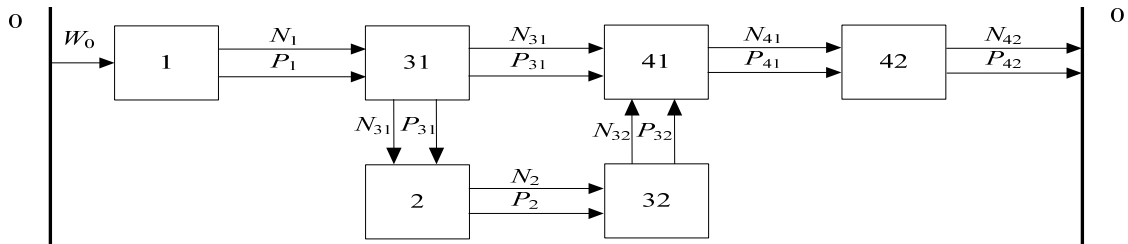


Рис. 4. Схема структуры функциональных связей агрегатов СЭС

Опуская переходные периоды ориентации КА, входа КА на теневой участок орбиты и выхода из него, погрешности при ориентации, положим $W_0 = [0;1]$ для теневого (ТУО) и освещенного (ОУО) участков орбиты соответственно.

На основании структуры функциональных связей агрегатов задан оператор сопряжения (табл. 1) и построены базы исходных данных и функциональных связей агрегатов (4–18).

Таблица 1

Оператор сопряжения агрегатов модели СЭС КА

A	1	2	31	32	41	42	0
1	0	0	N_1, P_1	0	0	0	0
2	0	0	i_{21}	N_2, P_2, i_{22}	0	0	0
31	0	N_{31}, P_{31}	0	i_{32}	N_{31}, P_{31}	0	0
32	0	0	i_{32}	0	N_{32}, P_{32}	0	0
41	0	0	0	0	0	N_{41}, P_{41}	0
42	0	0	0	0	i_{42}	0	N_{42}, P_{42}
0	W_0	0	0	0	0	0	0

$$W_0 = \begin{cases} 1, & \text{при } I_s \neq 0 \quad (\text{ОУО}); \\ 0, & \text{при } I_s = 0 \quad (\text{ТУО}), \end{cases} \quad (4)$$

где I_s – интенсивность освещения;

$$i_{21} = \begin{cases} 1, & \text{при } W_0 = 1 \cap N_2 < N_2^{TP}; \\ 0, & \text{при } W_0 = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где i_{21} – управляющий сигнал от A_2 к A_{31} ;

N_2 – мощность A_2 ;

N_2^{TP} – требуемая мощность A_2 .

$$i_{22} = \begin{cases} 1, & \text{при } N_1 \neq 0 \cap i_{21} = 1; \\ 0, & \text{при } N_{31} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где i_{22} – управляющий сигнал от A_2 к A_{32} ;

N_1 – мощность A_1 ;

N_{31} – выходная мощность A_{31} .

$$N_2 = \begin{cases} N_{31}\eta_2, & \text{при } i_{22} = 1; \\ \max(N_{\min}; N_{\max} - N_1), & \text{при } i_{22} = 0; \end{cases} \quad (7)$$

$$P_2^{BP} = 1 - e^{-a_2} \frac{a_2^{m_2}}{m_2!}, \quad (8)$$

где a_2 – среднее число отказов, $a_2 = \lambda\tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_2^M}$;

$\bar{\tau}_2^M$ – средняя продолжительность работы A_2 , $\bar{\tau}_2^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_2 – число отказов A_2 .

$$N_1 = \begin{cases} \frac{N_{\max}\tau_c + N_{\min}(t_{TYO} + (t_{OYO} - t)\eta_2)}{(t_{OYO} - t)\eta_2 + \tau_c}, \\ \left(I_\Phi W_0 - I_0 \left[\exp \frac{qU_{CB}}{kT} \right] \right) U_\Phi; \\ 0, & \text{при } W_0 = 0, \end{cases} \quad (9)$$

где I_Φ – величина фототока ФЭП,

U_Φ – напряжение холостого хода ФЭП,

kT – вектор температуры ФЭП,

U_{CB} – максимальное напряжение на ФЭП;

N_{\max} – максимальная (пиковая) мощность СЭС;

N_{\min} – минимальная мощность СЭС;

t_{TYO} – продолжительность функционирования на теневом участке орбиты;

t_{OYO} – продолжительность функционирования на освещенном участке орбиты;

$$P_1^{BP} = 1 - e^{-a_1} \frac{a_1^{m_1}}{m_1!}, \quad (10)$$

где a_1 – среднее число отказов, $a_1 = \lambda\tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_1^M}$;

$\bar{\tau}_1^M$ – средняя продолжительность работы A_1 , $\bar{\tau}_1^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_1 – число отказов A_1 .

$$N_{31} = \begin{cases} N_1 \eta_{31}, & \text{при } i_{21} = 0; \\ N_1, & \text{при } i_{21} = 1; \\ 0, & \text{при } N_1 = 0; \end{cases} \quad (11)$$

$$P_{31}^{BP} = 1 - e^{-a_{31}} \sum_{m_{31}=0}^{n_{31}^p} \frac{a_{31}^{m_{31}}}{m_{31}!}, \quad (12)$$

где a_{31} – среднее число отказов, $a_{31} = \lambda \tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_{31}^M}$;

$\bar{\tau}_{31}^M$ – средняя продолжительность работы A_{31} , $\bar{\tau}_{31}^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_{31} – число отказов A_{31} ;

n_{31}^p – число элементов резерва.

$$N_{32} = \begin{cases} N_1 \eta_{32}, & \text{при } i_{22} = 0; \\ 0, & \text{при } i_{22} = 1; \end{cases} \quad (13)$$

$$P_{32}^{BP} = 1 - e^{-a_{32}} \frac{a_{32}^{m_{32}}}{m_{32}!}, \quad (14)$$

где a_{32} – среднее число отказов, $a_{32} = \lambda \tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_{32}^M}$;

$\bar{\tau}_{32}^M$ – средняя продолжительность работы A_{32} , $\bar{\tau}_{32}^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_{32} – число отказов A_{32} .

$$N_{41} = \begin{cases} N_{31} \eta_{41}, & \text{при } i_{22} = 1; \\ N_{32} \eta_{41}, & \text{при } i_{22} = 0; \end{cases} \quad (15)$$

$$P_{41}^{BP} = 1 - e^{-a_{41}} \frac{a_{41}^{m_{41}}}{m_{41}!}, \quad (16)$$

где a_{41} – среднее число отказов, $a_{41} = \lambda \tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_{41}^M}$;

$\bar{\tau}_{41}^M$ – средняя продолжительность работы A_{41} , $\bar{\tau}_{41}^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_{41} – число отказов A_{41} .

$$N_{42} = N_{42} \eta_{42}; \quad (17)$$

$$P_{42}^{BP} = 1 - e^{-a_{42}} \frac{a_{42}^{m_{42}}}{m_{42}!}, \quad (18)$$

где a_{42} – среднее число отказов, $a_{42} = \lambda \tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_{42}^M}$;

$\bar{\tau}_{42}^M$ – средняя продолжительность работы A_{42} , $\bar{\tau}_{42}^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_{42} – число отказов A_{42} .

Получена математическая структура комплекса элементов, находящихся в детерминированном состоянии без внешнего воздействия и переходящих после него в иное, связанных

между собой оператором сопряжения, содержащим сведения о порядке связей между агрегатами и с внешней средой, а также математическое описание этих связей [2, 4].

Данная структура отражает процесс функционирования СЭС с точки зрения динамики преобразования энергии от первичного источника до потребителя, что определяет ее целевое назначение.

Агрегаты, представляющие процесс энергоснабжения СБК (рис. 5):

A_{21} – накопитель СБК;

A_{33} – разрядное устройство СБК.

База данных функциональных связей дополнится функциями мощности (19, 21) и вероятности безотказной работы (20, 22) этих агрегатов.

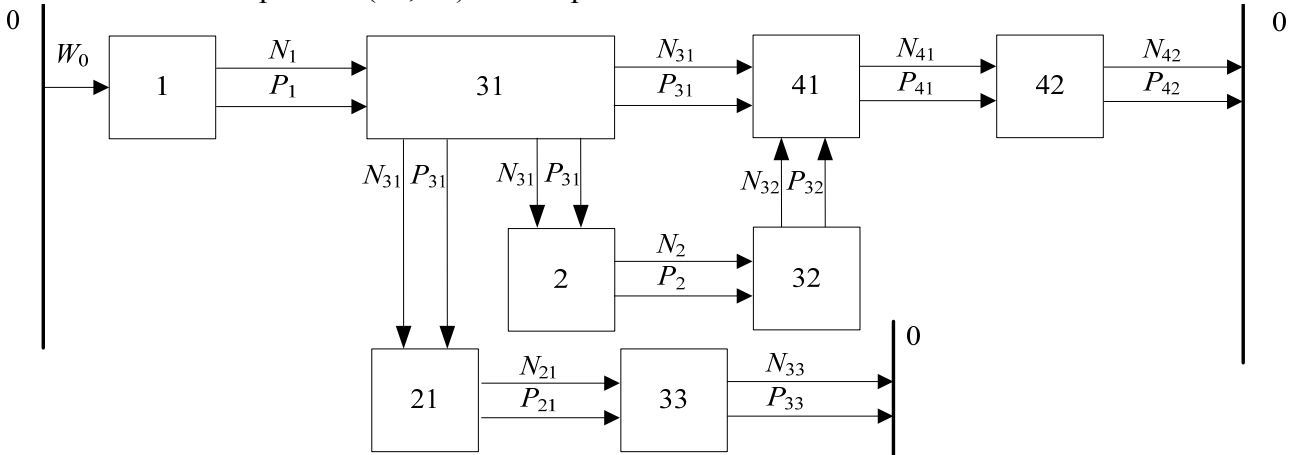


Рис. 5. Схема структуры функциональных связей агрегатов СЭС КА с агрегатами СБК

$$N_2 = \begin{cases} N_{31}\eta_2, & \text{при } i_{22} = 1; \\ \max(N_{\min}; N_{\max} - N_1) & \text{при } i_{22} = 0; \end{cases} \quad (19)$$

$$P_{31}^{BP} = 1 - e^{-a_{31}} \sum_{m_{31}=0}^{n_{31}^p} \frac{a_{31}^{m_{31}}}{m_{31}!}, \quad (20)$$

где a_{31} – среднее число отказов, $a_{31} = \lambda\tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_{31}^M}$;

$\bar{\tau}_{31}^M$ – средняя продолжительность работы A_{31} , $\bar{\tau}_{31}^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_{31} – число отказов A_{31} ;

n_{31}^p – число элементов резерва.

$$N_{33} = N_{21}\eta_{33}; \quad (21)$$

$$P_{33}^{BP} = 1 - e^{-a_{33}} \sum_{m_{33}=0}^{n_{33}^p} \frac{a_{33}^{m_{33}}}{m_{33}!}, \quad (22)$$

где a_{33} – среднее число отказов, $a_{33} = \lambda\tau^{TP} = \frac{\tau^{TP}}{\bar{\tau}_{33}^M}$;

$\bar{\tau}_{33}^M$ – средняя продолжительность работы A_{33} , $\bar{\tau}_{33}^M = 1/\lambda$;

λ – плотность потока отказов;

m_{33} – число отказов A_{33} ;

n_{33}^p – число элементов резерва.

Кроме того, A_{21} характеризуется временем заряда (23), A_{33} – временем разряда (24).

$$\begin{cases} \tau_{21} \leq \tau_{\max}^{\text{зар}} \\ \tau_{21} = \frac{E_{21\text{ПР}}}{N_{31}} \end{cases}, \quad (23)$$

где $\tau_{\max}^{\text{зар}}$ – максимально доступное время для перезаряда накопителя;

l_0 – пробег КА между моментами применения СБК;

$\tau_{\text{СБК}}$ – время работы СБК;

$$\begin{cases} \tau_{33} = \frac{E_i}{N_i^{\text{СБК}} \eta_{\text{СБК}}}, \\ \tau_{33} \geq \tau_{\min} \end{cases}, \quad (24)$$

где E_i – требуемая энергия лазерного излучения СБК;

$N_i^{\text{СБК}}$ – мощность, подведенная к СБК;

τ_{\min} – минимальное время разряда накопителя СБК.

Временные параметры внешних факторов $\tau_{\max}^{\text{зар}}$ и τ_{\min} , определяющих параметры применения СБК, вводятся в качестве исходных данных и являются результатами частного моделирования соответствующих процессов. Число включений (циклов заряд-разряд накопителя) СБК также вводится в модель после исследования определяющего внешнего фактора и получения значения основного параметра – плотности распределения вероятности воздействия на заданном временном интервале. Исходя из характера его возникновения, условие количества циклов может быть задано неравенством, содержащим в правой части динамический или стохастический параметр.

Соответствие параметров энергоснабжения систем КА, в том числе СБК, расчетным параметрам внешних факторов является аргументом в пользу их рационального применения (25).

$$\begin{cases} P_{\text{СЭС}}^{\text{БР}} \geq P_{\text{СЭСтр}}^{\text{БР}}, \\ m_{\text{СБК}} \geq \hat{m}_{\phi}, \\ \tau_{33} \geq \tau_{\min} \end{cases}, \quad (25)$$

где \hat{m}_{ϕ} – случайный показатель числа вероятных воздействий на заданном временном интервале;

$P_{\text{СЭСтр}}^{\text{БР}}$ – требуемая вероятность безотказной работы СЭС;

τ_{\min} – минимальное необходимое время работы СБК.

АЛГОРИТМ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Условие (25) является достаточным критерием рациональности выбранных параметров модели. Реализация проверки критерия в машинном коде заключается в описании агрегатов, взаимодействующих в соответствии с алгоритмом, заданным оператором сопряжения на временном интервале T с дискретностью Δt . Параметры агрегатов варьируются в пределах адекватных значений, установленных в исходных данных на этапе проектирования.

Выполнение последовательности действий с представленными моделями позволяет выполнить обоснование наиболее целесообразных, с точки зрения обеспечения бесперебойного энергоснабжения аппаратуры КА, оснащенного СБК, параметров СЭС КА.

Реализация схемы методики обоснования рациональных параметров СЭС в виде алгоритма программными средствами (рис. 8) позволяет формировать аргументы в обоснование рациональных параметров СЭС, в том числе и при изменениях начальных условий, назначения КА, применении другой структуры функциональных связей и принципов функционирования агрегатов. Модульность методики позволяет менять данные любых частей алгоритма без потери информативности.



Рис. 8. Алгоритм обоснования рациональных параметров СЭС КА с СБК

Методика может применяться как самостоятельно, при обосновании параметров конкретной системы, так и в составе расширенной модели, охватывающей процесс функционирования КА в целом, для синтеза параметров бортовых систем и элементов КА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснование рациональных параметров функционирования СЭС КА, обеспечивающих качественное энергоснабжение бортовых потребителей в условиях высокого энергопотребления СБК, представляет актуальную научно-техническую проблему. Разрешение данной проблемы является одной из первоочередных задач на пути разработки эффективного средства защиты отечественных КА от природных и техногенных факторов околоземного космического пространства.

Представленная методика содержит универсальную агрегативную имитационную модель, позволяющую на основе результатов исследования внешних факторов, обосновать выбор параметров СЭС КА, оснащенного бортовым защитным лазерным комплексом устройств с повышенным энергопотреблением. На основе выбранных параметров, при дальнейших исследованиях, может быть осуществлен синтез вариантов структуры, выбор параметров подсистем и элементной базы, уточнение общих технических требований к элементам СЭС и служебных систем КА.

Список используемых источников

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
2. Горичев Ю.В., Лебедев А.Н., Миронов В.И. Обеспечение качества и надежности сложных технических систем на этапе проектирования. – МО СССР, 1984. – 141 с.
3. Гуцин В.Н. Системы энергоснабжения. Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
4. Чилин Ю.Н. Исследование операций в сложных технических системах. – МО РФ, 2002. – 309 с.

А.Г. Тарасов,
кандидат техн. наук;
Ф.А. Самсонов,
кандидат военных наук;
А.Ю. Цветков,
кандидат техн. наук;

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ И ПУСКА РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В статье рассматривается логико-параметрический подход к моделированию живучести автоматизированных систем подготовки и пуска (АС ПП) ракет космического назначения (РКН) в условиях возникновения нештатной ситуации и синтезу программно-аппаратных средств системы контроля и обеспечения живучести в АС ПП. Рассматривается вариант структуры АС ПП, в котором вводится дополнительный уровень обеспечения живучести с применением робототехнических средств.

Ключевые слова: нештатная ситуация, живучесть, автоматизированная система подготовки и пуска, робототехнические средства.

С приходом на пост Министра обороны генерала армии С.К. Шойгу, руководство Вооруженных сил Российской Федерации стало уделять более пристальное внимание развитию новых видов вооружения с применением роботизированных средств различных классов. О том, что роботизированная техника в российской армии должна применяться как можно чаще, Сергей Шойгу говорил еще в декабре 2012 года, когда посетил 294-й центр по проведению операций особого риска «Лидер».

Такого внимания роботизированные средства удостоены благодаря следующим факторам:

- применимости в экстремальных условиях, не допускающих участие личного состава;
- повышению быстродействия, точности и стабильности основных характеристик вооружения и военной техники;
- исключению ошибок операторов (от усталости, влияния неблагоприятных факторов внешней среды, стрессовых ситуаций, перерывов в тренировках и т. п.);
- сокращению численности личного состава и выведению его из зон, опасных для жизни и здоровья;
- снижению потерь личного состава;
- упрощению собственно вооружения и военной техники;
- уменьшению затрат на эксплуатацию вооружения и военной техники.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ АС ПП

Управление системами и агрегатами технологического оборудования и технических систем стартового комплекса (СК) осуществляют АС ПП, в которых должны быть предусмотрены следующие средства для управления безопасностью технологических процессов подготовки РКН:

- средства аварийной блокировки с целью локализации опасной ситуации и предотвращения возникновения аварии или катастрофы;
- средства восстановления работоспособного состояния систем и агрегатов в условиях обеспечения требуемой безопасности;
- средства ликвидации последствий аварии или катастрофы, обеспечивающие требуемый уровень безопасности.

При разработке современных ракетно-космических комплексов (РКК) необходимо учитывать тот факт, что невозможно создать столь сложную техническую систему, работающую абсолютно безотказно. В связи с этим необходимо уделять внимание вопросам живучести и развивать средства восстановления работоспособного состояния в условиях обеспечения требуемого уровня безопасности.

Под *живучестью* понимается свойство системы сохранять и восстанавливать способность к выполнению основных функций в заданном объеме и в течение заданной наработки при изменении структуры системы и/или алгоритмов и условий ее функционирования вследствие воздействия не предусмотренных регламентом штатной работы опасных факторов (ОФ) [1]. В качестве ОФ могут выступать отказы элементов системы, в том числе ошибки обслуживающего персонала, входящего в состав системы (изменение свойств системы), а также изменение условий функционирования системы (изменение свойств среды). Система, обладающая свойством живучести, проявляет его в свойстве постепенной деградации, которое возникает вследствие введения как пассивных, так и активных средств обеспечения живучести (СОЖ).

При разработке современного РКК «Ангара» разработчики минимизировали непосредственное участие личного состава в процессах подготовки и пуска РКН на СК с целью повышения качества процессов подготовки и пуска РКН и безопасности личного состава. В связи с этим применение традиционным методов устранения нештатных ситуаций (НшС) с привлечением личного состава боевого расчета стало невозможным, и возникла необходимость разработки технических средств, которые могли бы оперативно устранить НшС и обеспечить выполнение целевой задачи – запуска космического аппарата. Такими средствами являются робототехнические системы и комплексы, необходимость развития которых обусловлена следующими факторами:

- минимизацией участия личного состава в ряде опасных операций при подготовке и пуске РКН;
- возрастающей актуальностью решения ряда задач, возможность решения которых с непосредственным участием человека-оператора сильно затруднена (устранением нештатных ситуаций и ликвидацией последствий аварий на стартовом комплексе, подготовкой и пуском РКН в период нарастания военной угрозы и в условиях военного времени).

При проектировании РКК «Энергия» были проанализированы более 500 возможных нештатных ситуаций, найдены способы выхода из них и сформулированы требования к бортовым системам, агрегатам и к ракете-носителю в целом, а также предусмотрены дополнительные средства контроля и локализации возможных повреждений. В результате работы проектные параметры носителя выбраны таким образом, чтобы при отказе любого из двигателей I или II ступени в любой точке траектории обеспечивался управляемый полет. Именно с этой целью на II ступени установлен четвертый двигатель. К сожалению, данные вопросы не были проработаны при проектировании РКК «Ангара».

Для создания робототехнических систем и комплексов необходимо разработать адекватную модель системы контроля и обеспечения живучести АС ПП РКН и определить место и задачи робототехнических комплексов. В общем виде формальная постановка научной задачи включает в себя следующие этапы:

1. Анализ и обоснование возможных НшС и предпосылок x (элементарных событий) реализации ОФ.
2. Расчет значения интегрального риска реализации НшС – $R(y_{cr}(x))$.
3. Синтез рациональной структуры $S^* = \{S(E), C(ek) < C^*\}$ СОЖ, обеспечивающей приемлемый интегральный риск $R(y) < R(y_{cr})$.
4. Синтез рациональной конфигурации ресурсов $Q = \{S(e_k), C(e_k)\}$ СОЖ, обеспечивающей приемлемый интегральный риск $R(y) < R(y_{cr})$.

5. Синтез оптимальной функции управления $u(Q(e))$ средствами обеспечения живучести $U^* = \text{opt}\{Z_0, C(e), T^*\}$, обеспечивающей гарантированное выполнение целевой задачи $Z_0 \geq Z_0$ за нормативно определенное для условий обстановки время T при ресурсных ограничениях $C(e) < C_0$.

6. Оценивание эффективности системы контроля обеспечения живучести – Wz .

При этом принимаются следующие допущения:

1. Исходные данные о параметрах воздействий $\{v_i, \mu(v_i)\}$, восприимчивости $\{r_i, \mu(r_i)\}$ и ослабления воздействия $\{f_i, \mu(f_i)\}$ – нечеткие неслучайные величины.

2. Для критических событий функциональные зависимости $y = f(x)$ неизвестны.

3. Время на идентификацию НшС и количественную оценку меры ее реализации ограничено ($\tau < T$).

4. Безопасность реализации целевой задачи $\delta(y)$ должна быть не ниже требуемой.

Использование моделей динамической обработки данных логико-параметрического мониторинга состояния элементов системы на основе данных распределенных программно-аппаратных средств (датчиков, измерителей, резидентных модулей и т. д.) и расчет значений интегрального риска реализации НшС является базисом для синтеза системы комплексного контроля и обеспечения живучести интегрированных АСУ [2]. Функциональная модель системы комплексного контроля и обеспечения живучести АСУ представлена на рис. 1.

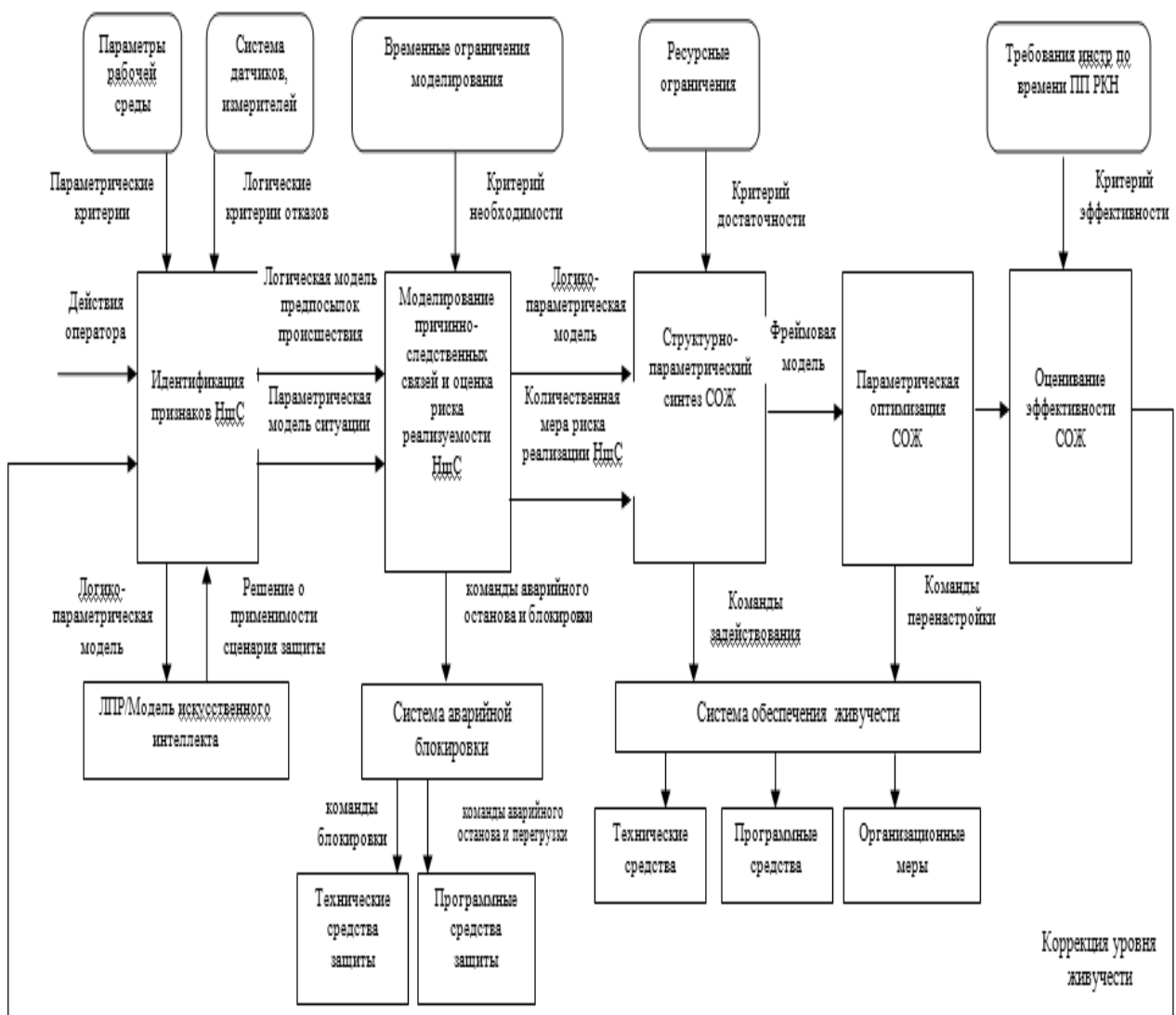


Рис. 1. Функциональная модель системы контроля и обеспечения живучести

На первом этапе проводится идентификация нештатной ситуации, при этом должна быть выявлена причина функционального отказа с точностью до заменяемого или ремонтируемого структурного элемента. Выявление и локализация физических отказов в элементах системы являются одними из самых сложных операций при решении задач обеспечения «живучести» рассматриваемого класса систем.

Предварительные исследования показывают, что временные задержки и ошибки в управлении, вызванные неверным решением задач оценивания или контроля технических состояний АС ПП, могут привести к необратимым негативным последствиям – срыву выполнения возлагаемых на них задач, отказам, различным по своим последствиям авариям и даже катастрофам. В наибольшей степени эта проблема обостряется при возникновении нештатных ситуаций, вызванных различными внешними и внутренними факторами. Решение данных задач возлагается на операторов и, как показывает практика, именно в этих ситуациях операторы не справляются с задачей оценки и контроля функциональных состояний АС ПП, что и приводит к различным негативным последствиям.

На втором этапе моделируются причинно-следственные связи процессов, приведших к возникновению НшС, и оцениваются возможные последствия НшС. К сожалению, не всегда удается оперативно устранить причину функционального отказа, в связи с чем необходимо представлять возможные последствия возникшей НшС. Если последствия НшС не приводят к критическим событиям, то СОЖ будут восстанавливать работоспособное состояние за предельно-короткое время. Если же последствия НшС могут привести к критическим событиям, то задействуется система аварийной блокировки для предотвращения развития НшС и, если это возможно, СОЖ будут задействованы для восстановления работоспособного состояния. Для восстановления работоспособного состояния потребуются выполнить широкий спектр разноплановых задач (подтяжку стыка, переборку стыка, замену дефектного узла) – в силу чего СОЖ должны в обязательном порядке обладать средствами манипуляции и перемещения.

На третьем этапе производится структурно-параметрический синтез средств обеспечения живучести, в качестве которых будут выступать робототехнические средства (РТС). В начале данного этапа оценивается достаточность ресурса для синтеза СОЖ и, в случае выполнения критерия достаточности, на основе принципа агрегирования осуществляется синтез аппаратных и программных средств, а также формируются программы управления робототехническими средствами.

На четвертом этапе осуществляется перенастройка параметров СОЖ (в случае возникновения такой необходимости). Перенастройка параметров осуществляется с пункта управления обслуживающим персоналом. Перенастройка параметров может потребоваться в случаях, когда прогнозируемое развитие НшС отличается от действительного (появления дополнительных опасных факторов, отказов РТС и др).

На пятом этапе осуществляется оценивание эффективности СОЖ в соответствии с заданными критериями и по результатам корректируется уровень живучести системы.

СТРУКТУРА АС ПП С ПРИМЕНЕНИЕМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Типовая структура АС ПП [3] представляет собой многоуровневую систему, состоящую из 4 уровней (рис. 2).

На *полево*м уровне расположены датчики и исполнительные механизмы, осуществляющие съем информации о контролируемых параметрах и реализующие управление процессом подготовки и пуска РКН.

На *нижнем* уровне контроллеры АС ПП выполняют обработку параметров процесса подготовки и пуска РКН, управляют его протеканием, передают информацию на верхний уровень через коммуникационный сервер сетевого уровня.

Сетевой уровень обеспечивает передачу информации между нижним и верхним уровнями управления.

На верхнем уровне расположены операторские станции и сервер системы. На сервере системы располагается вся архивная информация, база данных программного обеспечения (ПО) контроллеров. На операторских станциях отображается мнемосхема объекта со всеми текущими параметрами, и оператор контролирует процесс подготовки и пуска РКН, имея всю необходимую информацию на экране монитора.

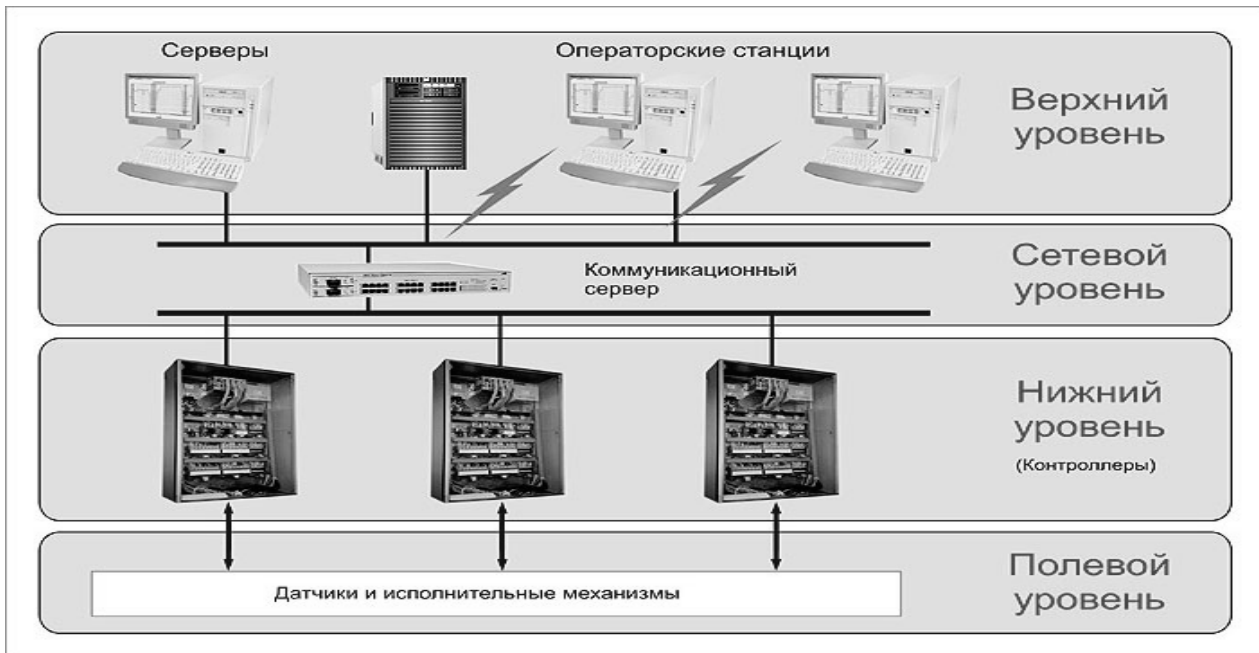


Рис. 2. Типовая структура АСУ ТП

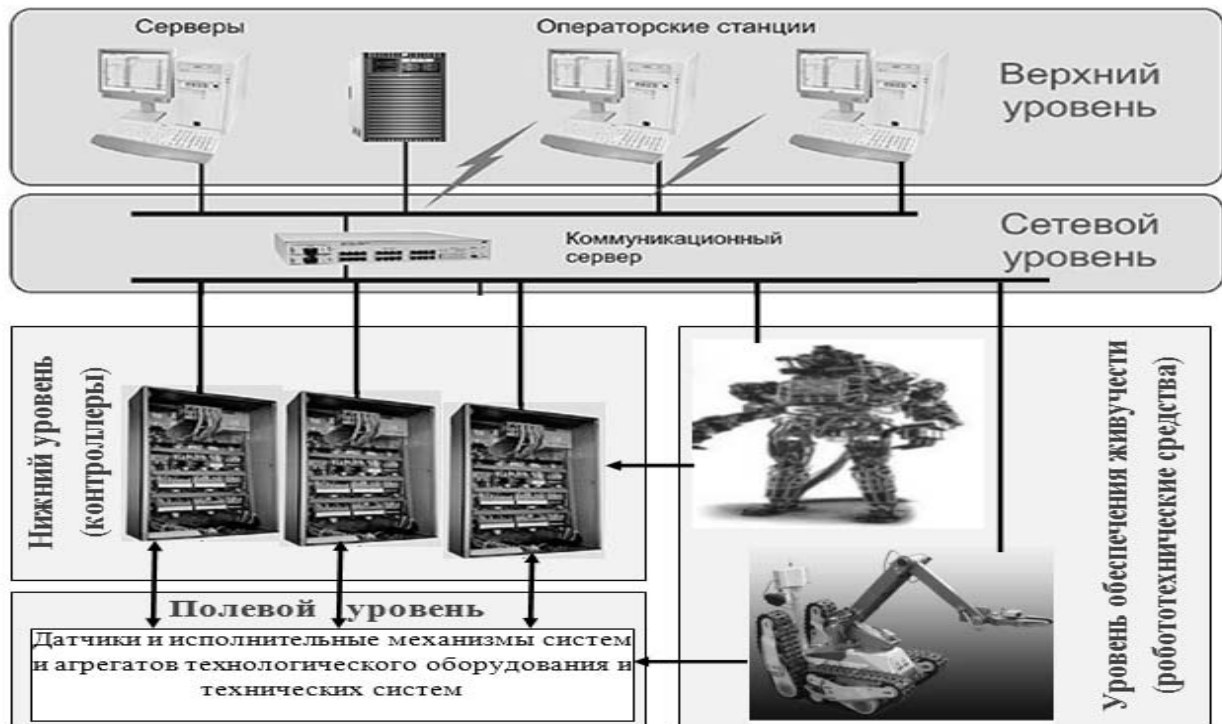


Рис. 3. Структура АС ПП с применением робототехнических средств

Основные средства реализации технологического процесса подготовки и пуска РКН находятся на нижнем и полевом уровнях, а верхний уровень реализует функции контроля. Внедрение средств обеспечения живучести (робототехнических средств) в структуру АС ПП образует дополнительный уровень, а структурно-параметрический синтез данных средств, их оптимизация и оценивание эффективности будут реализовываться на верхнем уровне с участием оператора системы. Данный уровень по существу реализуемых операций будем называть *уровнем обеспечения живучести* или *ремонтно-восстановительным уровнем*. Таким образом, структура АС ПП приобретает свой законченный вид (см. рис. 3).

Следует отметить, что нештатные ситуации характеризуются случайным характером времени возникновения и неопределенностью закономерностей развития. Многообразие НшС, которые могут возникать в процессе подготовки и пуска РКН, требует привлечения методов ситуационного управления, в основе которых лежит моделирование управляющих решений в соответствии со складывающейся ситуацией. При реализации данного метода управляющие решения формируются на основе процедур логического вывода с использованием методов искусственного интеллекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие автоматизированных систем подготовки и пуска РКН направлено на повышение безопасности технологических процессов подготовки и пуска РКН, что создает необходимые условия применения робототехнических комплексов для устранения нештатных и аварийных ситуаций.

Применение модели логико-параметрического моделирования НшС и определения меры живучести в условиях неполноты и/или недостоверности исходных данных дает возможность получения количественной оценки вероятности реализации НшС, обусловленных системой слабо коррелированных факторов, что является одной из форм реализации концепции предупредительной безопасности. Это создает предпосылки для повышения эффективности функционирования АС ПП РКН в различных условиях обстановки.

Список используемых источников

1. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. – М.: Знание, 1987. – 32 с.
2. Самсонов Ф.А. Модель и метод рационального распределения ресурсов автоматизированной системы управления специального назначения для противодействия многофакторной угрозе // Коммуникационные технологии и сети (СТН-2013). – М.: МТУСИ, 2013. – С. 147–150.
3. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник / В.А. Белозеров, И.В. Дорожко и др.; под ред. А.Б. Кузнецова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – 284 с.

Н.А. Репях,
кандидат философских наук;
А.Н. Хрустова

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ПУТИ И СПОСОБЫ АКТИВИЗАЦИИ

Статья посвящена вопросам активизации самостоятельной работы как фактора развития и самоорганизации обучающихся в условия современной образовательной парадигмы. Акцентируется внимание на психолого-педагогическом и методическом аспектах самостоятельной работы.

Ключевые слова: самостоятельная работа, «научить учиться», мотивация, учебно-методические материалы, проблемный характер самостоятельной работы, автоматизированные обучающие системы, современные технологии обучения.

Центральным звеном современной образовательной парадигмы выступает компетентностный подход. Его реализация предполагает освоение обучающимися фундаментальных знаний, профессиональных умений и навыков деятельности своего профиля, опыта творческой и исследовательской деятельности по решению новых проблем, опыта социально-оценочной деятельности. Две последние составляющие образования формируются главным образом в процессе самостоятельной работы.

Переход от парадигмы обучения к парадигме образования, от формулы «образование на всю жизнь» к формуле «учение длиною в жизнь» существенно изменяет роль самостоятельной работы обучающихся, которая заключается в том, что в процессе обучения закладываются основы будущего самообразования обучающихся, их постоянного повышения профессиональной компетентности и высокой готовности к профессиональной деятельности. Самостоятельная работа перестает быть просто формальным звеном учебного процесса, она становится инновационной, если осознается обучающимся как необходимый элемент собственного развития, как профессионального, так и личностного. В современных условиях все более очевидной становится ее цель, которая заключается в том, чтобы «*научить учиться*» [6].

Как важный фактор развития и самоорганизации личности, самостоятельная работа может рассматриваться в разных аспектах: организационном, содержательном, методическом, психолого-педагогическом, коммуникативном и т. д. В конечном итоге, осмысление и практическое воплощение выводов и рекомендаций по каждому из них призвано активизировать самостоятельную работу обучающихся.

Не умаляя значимости ни одного из аспектов самостоятельной работы, в предлагаемой статье авторы считают необходимым акцентировать внимание на психолого-педагогическом и методическом аспектах этой проблемы.

С психологической точки зрения самостоятельную работу обучающихся можно определить как целенаправленную, внутренне мотивированную деятельность, структурированную самим обучающимся и корректируемую им в ходе процесса и по результату.

Современный обучающийся должен уметь самостоятельно пополнять свои знания, обладать твердыми навыками поиска, обработки и преобразования информации, использовать методы исследовательской работы. Причем активная самостоятельная работа обучающихся возможна только при наличии серьезной и устойчивой *мотивации*. Известно, что мотивация – это совокупность факторов, стимулирующих и побуждающих человека к совершению

какого-либо действия в рамках определенной деятельности. При этом деятельность, как правило, полимотивирована, т. е. побуждается одновременно несколькими мотивами.

Мотивация выполняет три регулирующие функции по отношению к действию:

- *побуждающую*, дающую двигательный импульс или мотив для того, чтобы личность начала действовать;
- *смыслообразующую*, придающую деятельности глубокий личностный смысл;
- *организующую*, опирающуюся на целеполагание, когда осознанные мотивы превращаются в мотивы-цели.

Именно такая мотивационная иерархия лежит в основе познавательной самостоятельности, формирование которой должно стать сутью образовательного процесса. Познавательная активность, в том числе способность к самообразованию у одних обучающихся носит генезисный характер, у других эти качества нужно формировать через такую организацию учебного процесса, когда самостоятельная работа становится ключевым звеном.

Главная задача каждого педагога состоит в том, чтобы научить обучающегося использовать свои ресурсы (интеллектуальный, психологический, творческий и мотивационный) самостоятельно, а не уличать его в незнании фактического материала. Необходимо помочь обучающемуся перейти от «формального» мотива (например, выучить материал, чтобы не получить неудовлетворительную оценку) до вполне осознанной самостоятельной познавательной деятельности (например, обучающийся ставит цель совершенствования профессионально значимых знаний и умений с тем, чтобы стать более успешным).

Возможны три психологических состояния, определяющие высокий уровень мотивации обучающегося, его удовлетворенность проделанной работой, а также высокие результаты самой деятельности:

- *воспринимаемая значимость работы* (степень восприятия своего труда важным, ценным и стоящим);
- *ощущаемая ответственность* (степень ответственности за результаты своего труда);
- *знание результатов* (степень понимания эффективности и результативности своего труда).

Таким образом, в системе факторов, способствующих активизации самостоятельной работы, определяющую роль играет мотивация. Ядром последней является совокупность внутренних факторов, основными из которых выступают [2]:

1. **Полезность выполняемой работы.** Если обучающиеся знают, что результаты их работы будут использованы должным образом, то отношение к выполнению задания существенно изменится в лучшую сторону, а качество выполняемой работы возрастет. При этом важно психологически настроить обучающихся, показать им, как необходима выполняемая работа.

2. **Участие обучающихся в творческой деятельности.** Это может быть участие в научно-исследовательской или методической деятельности, проводимой на кафедре.

3. **Участие в олимпиадах по учебным дисциплинам, конкурсах научно-исследовательских или прикладных работ** и т. д.

4. **Использование мотивирующих факторов контроля знаний** (накопительных оценок, рейтинга, тестов). Эти факторы при определенных условиях могут вызвать стремление к состязательности, что само по себе является сильным мотивационным фактором самосовершенствования обучающегося.

5. **Поощрение обучающихся за успехи в учебе и творческой деятельности** (премирование, поощрительные баллы) и санкции за плохую учебу. Например, за работу, сданную раньше срока, можно проставлять повышенную оценку, а в противном случае ее снижать.

6. **Индивидуализация заданий**, выполняемых как в аудитории, так и вне аудитории, постоянное их обновление.

Самостоятельная работа обучающихся заключается в систематическом изучении учебной дисциплины в течение семестра, закреплении и углублении полученных знаний и навыков при подготовке к предстоящим занятиям, а также формировании культуры умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний по предстоящей профессиональной деятельности. Только через *ориентацию на предстоящую деятельность* обучающийся сможет прийти к всестороннему развитию своей личности. В связи с этим – как залог качественной подготовки обучающихся – самостоятельную работу необходимо ориентировать на предстоящую деятельность. К тому же подготовка к дальнейшей эффективной профессиональной деятельности и является самым мощным мотивирующим фактором.

Эффективным способом повышения мотивации (и, соответственно, активизации самостоятельной работы обучающихся) представляется придание ей *проблемного характера*, формирующего у обучающихся отношение к самостоятельной работе как к ведущему средству формирования профессиональных компетенций.

Примером может быть проблемная лекция, стимулирующая обучающихся к самостоятельному мышлению, формированию собственного мнения, анализу научных и практических проблем, к нахождению методов их индивидуального изучения и разрешения [4]. Проблемная лекция является началом цикла: проблемная лекция – самостоятельная работа по проблемам – индивидуальная и групповая консультации по проблемам. Однако отмеченную последовательность элементов не надо абсолютизировать. Проблемная самостоятельная работа может следовать за проблемной лекцией, но она может и определенным образом ей предшествовать. При этом необходимо учитывать, что помимо учебника, при подготовке к проблемной лекции для самостоятельной работы обучающимся рекомендуются определенные задачи, тесты и упражнения. Деятельность обучающегося в данном случае носит продуктивный (творческий) характер, что в настоящее время немаловажно.

В современных условиях самостоятельная работа обучающихся должна становиться все более ведущей, а деятельность преподавателя – содействующей, тьюторской, способствующей эффективному формированию знаний, умений и навыков. Поэтому преподаватель обязан пробудить у обучающихся интерес к овладению конкретным знанием, подготовить всю требуемую информацию о предмете изучения и его роли в будущей профессиональной деятельности, разработать учебно-методические материалы и помочь каждому организовать свою учебно-познавательную деятельность (самостоятельную работу) наиболее рациональным для него образом, обеспечить действенный и своевременный контроль продвижения от незнания к знанию, от неумения к умению.

При этом важно представить полноценные учебно-методические материалы самостоятельной работы (вопросы для самоконтроля, варианты контрольных работ и расчётно-графического задания, задачи для самостоятельного решения, методические указания к решению типовых задач, конспекты лекций и др.), сориентировать обучающихся на их выполнение и, выделив для этого соответствующие временные ресурсы, интегрировать их в систему инновационных педагогических технологий.

Мы считаем, что в настоящее время важным аспектом в активизации самостоятельной работы является *разработка комплексных учебно-методических материалов (УММ)* по дисциплинам и выдача их обучающимся.

В связи с увеличением доли самостоятельной работы в учебном процессе роль учебно-методических материалов значительно возрастает. Они должны выполнять следующие функции:

- информационную (содержание теоретических данных отвечает контексту изучаемой дисциплины);
- управляющую (рациональное расходование времени обеспечивает усвоение учебного материала);

– организационно-контролирующую (рекомендации по изучению учебной дисциплины, самоконтроль обучающихся программ, программ для тренинга, графика текущего контроля).

На наш взгляд, для эффективной организации самостоятельной работы обучающиеся должны быть обеспечены:

– индивидуальными заданиями, раскрывающими цель, содержание, форму отчетности и контроля выполнения;

– методическими указаниями по проведению самостоятельной работы, направленными на повышение ее эффективности и формирования культуры умственного труда;

– информационными ресурсами, в том числе электронными (учебно-методическими материалами, учебниками, учебными пособиями, руководствами, практикумами, обучающими программами и др.);

– консультациями преподавателей;

– индивидуальными и групповыми рабочими местами в случае выполнения научно-исследовательских или практических работ;

– материально-техническими ресурсами.

Основное инновационное предназначение учебно-методических материалов по самостоятельной работе – дать возможность каждому обучающемуся перейти от деятельности, выполняемой под руководством преподавателя, к деятельности, организуемой самостоятельно. Учебно-методические материалы, разрабатываемые преподавателем как в виде печатных, так и в виде электронных изданий, представляют собой образовательную среду. В этом свете применение инноваций, основанных на использовании компьютеров, мультимедиа, аудиовизуальных материалов и т. д., позволяет активизировать учебный процесс, привлечь обучающихся к самостоятельной работе и организовать контроль ее выполнения.

Иными словами, учебно-методические материалы для самостоятельной работы становятся для обучающихся своего рода «гидом» в процессе обучения. Это означает, что в УММ по самостоятельной работе отражается как, какими способами и в какой последовательности должно происходить приобретение обучающимися знаний по каждой дисциплине. Кроме того, устанавливаются временные рубежи контроля и те ключевые знания и умения, которые подвергаются контролю.

Одной из важных составляющих активизации обучающихся в условиях индивидуальной и самостоятельной деятельности является осуществление *контроля над самостоятельной работой*. Контроль над самостоятельной работой может осуществляться в формах собеседования, проверки конспектов, защиты рефератов, проверки письменных индивидуальных заданий, коллоквиума, научно-практической конференции, защиты проектов и презентаций, комплексного тестирования, контрольных работ и т. д. Обучающийся, как правило, отчитывается в установленные сроки о выполнении самостоятельных заданий.

Результативность самостоятельной работы обучающихся во многом определяется наличием активных методов ее контроля. Контроль должен носить систематический характер, прежде всего для того, чтобы выявить недостатки в образовательном процессе и создать механизм их устранения, а также сформировать обратную связь для коррекции обучения. Контроль включает: текущий контроль успеваемости, промежуточную аттестацию обучающихся в форме зачетов (зачетов с оценкой), экзаменов, защиты курсовых работ (проектов, задач), а также государственную итоговую аттестацию.

По мнению авторов направление путей активизации самостоятельной работы следует искать прежде всего в использовании индивидуального собеседования как способа контроля ее результатов.

Результаты индивидуального *собеседования* при выдвигании учебных целей на первый план выражаются не столько в оценке знаний обучающихся по отдельным вопросам изучаемой дисциплины, сколько в более глубоком уяснении места и роли знаний по этой дисциплине.

лине в освоении определенных компетенций, подготовке к будущей практической деятельности. Важный результат индивидуального собеседования – повышение интереса к изучаемому предмету, к овладению его теоретическими положениями, применению получаемых знаний в жизни, практической работе. Следует иметь в виду, что индивидуальное собеседование отличается своеобразием своих целей и функций, которые выходят за рамки проверки и контроля использования обучающимися времени самостоятельной работы. Опыт преподавателей кафедры убедительно свидетельствует, что индивидуальное собеседование может быть с успехом использовано не только для достижения учебных целей, но и для развития личности, побуждения человека к напряженной самостоятельной работе, самообразованию и самовоспитанию.

Как показывает практика, выдвижение, наряду с познавательной и контрольной функциями функций воспитательной и побуждающей, вносит изменение и в содержание, и в методичку, и в результаты собеседования. При этом появляется ряд дополнительных требований к преподавателю, способам его работы уже на подготовительной стадии. В соответствии с рассматриваемой задачей преподаватель осуществляет выбор средств ее решения, оценивает полученные результаты, уточняет собственные действия по влиянию на обучающегося.

Собеседование как вид субъект-субъектных отношений – это всегда совместная деятельность обучающего и обучающегося, результат которой зависит как от одной, так и от другой стороны взаимодействия. Последнее должно строиться на доброжелательности при условии объективности оценки успехов обучающегося. Преподаватель всегда должен помнить о своей ответственности – собеседование призвано всесторонне обогащать обучающегося интеллектуально, нравственно и эстетически. При этом нужно понимать, что такое общение формирует у обучающегося представление о личностных качествах педагога.

Залогом познавательной самостоятельности является самоконтроль как способность обучающегося по собственной инициативе критически оценивать свои действия [3]. В настоящее время *использование автоматизированных обучающих систем для самоконтроля* – один из наиболее эффективных приемов активизации самостоятельной работы обучающихся. Весьма полезным, на наш взгляд, является тестовый контроль знаний и умений, отличающийся объективностью, экономящий время преподавателя, обладающий высокой степенью дифференциации обучающихся по уровню знаний. При этом дает возможность индивидуализировать процесс обучения путем подбора индивидуальных заданий. Преподавателем могут применяться различные виды контрольных тестовых заданий. Примером может быть выбор правильного решения из нескольких приведенных вариантов. Для этого при изучении проблемы, как правило, предлагается вопрос и ряд ответов на него, из которых необходимо выбрать правильный. Можно потребовать аргументировать свою точку зрения, можно усложнять контрольные задания и предлагать различные варианты выбора решений с участием компьютерных вариантов.

Значительно активизируют деятельность обучающихся задачи, требующие умения применять определенные методы к решению задач профессионального направления. Составленные задачи имитируют реальные исследования явлений и процессов, но имеют несколько упрощенный характер.

Активизация самостоятельной работы, по нашему мнению, в значительной степени может быть достигнута внедрением в образовательный процесс *современных технологий обучения*, обеспечивающих формирование профессиональной компетентности, готовности к самообразованию. К ним следует отнести [1]:

- игровые технологии, организующие учебный процесс в форме разыгрывания ролевых ситуаций;
- деловую игру – взаимодействие обучающихся, имитирующее те или иные практические ситуации профессиональной деятельности (модель принятия решений). К тому же, деловая игра представляет собой мощный мотивационный фактор;

- анализ конкретных ситуаций, представляющий собой реальные ситуации из жизни, которые дают основу и тему для дискуссии, оценки проблемы, ее причин, внутренней логики и возможных последствий (оценочные кейсы) или предполагают анализ альтернативных решений и выбор оптимального варианта (кейсы, предполагающие принятие решений);
- проектную технологию, основанную на индивидуальном или коллективном выполнении обучающимися проектных заданий различного типа. Процесс работы над творческим проектом позволяет использовать все ранее сформированные навыки и умения (постановку задачи, выбор порядка ее решения, накопление и анализ исходной информации, определение основных вариантов решения проблемы, формулирование выводов и заключений и оформление их в логическую форму, их публичное представление), интегрировать фоновые знания, максимально вовлекая креативные возможности личности.

На наш взгляд, для эффективной организации самостоятельной работы обучающихся преподавательский состав призван решить ряд важных задач, например:

1. Организовать индивидуальную учебную работу с переходом от формального выполнения заданий по «образцу» к познавательной деятельности;
2. Научить формировать у обучающегося собственное мнение при решении проблемных вопросов и задач;
3. Научить обучающегося осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией;
4. Сформировать у обучающегося исследовательские навыки;
5. Разработать необходимые учебно-методические материалы для организации самостоятельной работы обучающихся;
6. Использовать разнообразные современные технологии, способствующие активизации самостоятельной работы обучающихся;
7. Оказать своевременную консультационную помощь обучающимся для устранения недостатков и грамотно руководить самостоятельной работой обучающихся;
8. Заложить основы самоорганизации и самовоспитания;
9. Привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою квалификацию;
10. Увидеть и развить лучшие качества обучающегося как будущего специалиста высокой квалификации, учитывать их индивидуальные способности и психологические особенности, создать ситуацию выбора, ситуацию успеха.

Таким образом, самостоятельная работа должна сопровождаться существенным изменением методики преподавания, организованной для осуществления передачи обучающимся умения самостоятельно приобретать и пополнять знания, оригинально мыслить и самим принимать решения при консультирующей, направляющей роли преподавателя.

Методика должна быть последовательно ориентирована на выработку комплекса определенных умений, необходимых специалисту, причем умений не только узкоспециальных, но и фундаментальных, таких, например, как умение учиться.

В настоящее время требуется сознательное формирование убежденности преподавателей и обучающихся в необходимости изменения приоритетов в учебном процессе.

Соответственно методическое искусство преподавателя состоит в том, чтобы сделать самостоятельную работу дозированной, органично сочетающейся с аудиторной работой и в то же время увлекательной, т. е. содержащей мотивационные свойства.

Самостоятельная работа призвана формировать профессиональную компетентность и способствовать развитию навыков самоорганизации и самоконтроля собственной деятельности. Этот аспект представляется особенно важным, поскольку обеспечивает становление квалифицированного военного специалиста, способного к саморазвитию, проектированию и преобразованию своих действий.

В современных условиях последовательная активизация самостоятельной работы является важным фактором подготовки компетентного военного специалиста, конкурентоспособного, ответственного, уверенно владеющего своей профессией, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Список используемых источников

1. *Панфилова А.П.* Инновационные педагогические технологии. Активное обучение: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 192 с.
2. Психология и педагогика высшей школы / Л.Д. Столяренко и др. – Ростов н/Д: Феникс, 2014. – 620 с.
3. Современные образовательные технологии: учеб. пособие / под ред. Н.В. Бордовской. – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2011. – 432 с.
4. *Соколов Е.А.* Технология проблемно-модульного обучения: теория и практика: монография. – М.: Логос, 2012. – 384 с.
5. *Сорокопуд Ю.В.* Педагогика высшей школы. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 541 с.
6. *Шарипов Ф.В.* Педагогика и психология высшей школы: учеб. пособие. – М.: Логос, 2013. – 448 с.
7. *Громкова М.Т.* Педагогика высшей школы: учеб. пособие для студентов педагогических вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 447 с.

С.В. Чистяков,
кандидат техн. наук;
А.Б. Пауков,
кандидат военных наук;
Д.А. Федоров,
кандидат военных наук

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КОМАНДИРОВ КУРСАНТСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ АКАДЕМИИ

Система военно-профессиональной подготовки курсантов академии представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных компонентов, образующих единый, целостный и непрерывный процесс формирования личности будущего офицера. Авторами рассматриваются предложения по совершенствованию этой системы в академии и содержание основных мероприятий каждого из этапов становления офицеров курсового звена.

Ключевые слова: система, система подготовки, командир, подразделение, этапы подготовки, мероприятия, подбор кандидатов, требования.

Без высокообразованных, образцово подготовленных командиров курсантских подразделений не может быть и речи о качественной подготовке и воспитании наших курсантов [2].

Работа начальника курса (курсового офицера) основывается на выполнении требований руководящих документов Министерства обороны Российской Федерации, Войск воздушно-космической обороны по организации образовательного процесса в военно-учебных заведениях Министерства обороны Российской Федерации и должна носить системный характер.

Система подготовки командиров курсантских подразделений состоит из четырех основных этапов:

I этап. Подбор кандидатов и назначение на должности курсового звена.

II этап. Профессиональная подготовка в процессе становления командиров курсантских подразделений.

III этап. Профессиональное совершенствование при выполнении должностных обязанностей.

IV этап. Дальнейший карьерный рост офицеров курсового звена [3].

Роль и значение офицеров курсового звена в воспитании и обучении курсантов трудно переоценить. Во все времена подбор офицеров на эти должности осуществлялся предельно внимательно и аккуратно. Ошибка при назначении может иметь серьезные последствия.

Рассмотрим содержание мероприятий каждого из приведенных выше этапов [1].

Первый этап начинается с подбора кандидатов на замещение должностей офицеров курсового звена. По результатам изучения личных дел кандидатов и анализа их соответствия некоторым «формальным» требованиям должен формироваться предварительный список возможных кандидатов, допускаемых к дальнейшим «испытаниям» для назначения на должности.

В качестве основных требований-критериев могут выступать:

1. Наличие войскового опыта.
2. Профильность образования.
3. Средний балл за период обучения в академии.
4. Наличие позитивных отзывов, рекомендаций, характеристик с последнего места службы.
5. Отсутствие отрицательных отзывов за время обучения в ввузе [2].

Следует отметить, этот перечень требований не окончателен, он может быть дополнен, конкретизирован и уточнен, это – отправная точка в данном направлении.

Далее со всеми кандидатами проводятся мероприятия этапа подбора:

- оценка профессиональной подготовленности кандидата;
- оценка уровня физической подготовленности кандидата;
- оценка готовности кандидата к управлению подразделениями;
- принятие окончательного решения о назначении на должности командиров курсантских подразделений.

В оценке *уровня профессиональной подготовленности* должен принимать участие специалист факультета (кафедры) по профильному образованию кандидата. Необходимость данной оценки обусловлена тем, что зачастую средний балл аттестата не соответствует реальному уровню профессиональной подготовки кандидата.

Для определения уровня профессиональной готовности кандидата к управлению подразделениями должны привлекаться профессионально подготовленные специалисты воспитательной структуры академии. Этот этап подбора включает адекватную оценку предшествующего опыта прохождения службы кандидатом, оценку его способностей «видеть проблемы управления» и оценку способностей к инновациям.

Надо вспомнить хорошую традицию в разделении воинского труда: «Командир задает ориентиры для выполнения задачи, воспитатель формирует ориентировочную основу деятельности, требуемую для ее выполнения» [2].

Учитывая личный опыт работы в данном направлении, научный и кадровый потенциал академии, а также накладываемые на проведение подбора кандидатов временные ограничения, мероприятия первого этапа можно провести всего за 2 дня.

Следующий, второй этап подготовки командиров курсантских подразделений включает:

- становление в должности;
- сопровождение деятельности начальника курса (курсового офицера).

Для вновь назначенного на должность офицера разрабатывается «План вхождения в должность ...», который предусматривает изучение должностных и специальных обязанностей, получение опыта проведения занятий с личным составом, освоение системы воспитательной и правовой работы, а также другие аспекты управления воинским коллективом.

На этом, как и на следующем, этапах очень важно сопровождение «начинающего командира» с целью оказания квалифицированной помощи в обучении, в освоении современных методов работы, коррекции его деятельности, как со стороны начальника факультета, так и со стороны офицеров отдела по работе с личным составом академии.

Третий этап – это непосредственно исполнение должностных обязанностей, этап совершенствования профессиональных знаний, навыков и умений в работе с личным составом.

По данному направлению подготовки командиров курсантских подразделений в академии разработаны:

- должностные обязанности начальника курса и курсового офицера;
- типовая система работы начальника курса (курсового офицера);
- тематический план и расписание занятий в системе профессионально-должностной подготовки командиров подразделений курсантов академии;
- система дополнительных мероприятий по повышению профессионально-должностной подготовки командиров подразделений курсантов академии;
- учебный план и программа повышения квалификации начальников курсов (курсовых офицеров).

В рамках дополнительных мероприятий по повышению профессионально-должностной подготовки с начальниками курсов (курсовыми офицерами) запланировано проведение следующих видов занятий:

- учебно-методических сборов под руководством начальника академии;

- инструкторско-методических занятий под руководством заместителей начальника академии, начальников факультетов и начальника 102-й кафедры.

Следует отметить, что офицеры курсового звена выступают не только в качестве обучающихся, но и являются руководителями показательных и открытых занятий с целью обмена опытом, для оказания помощи в организации и методике проведения занятий.

Как отмечено выше, личный состав 102-й кафедры совместно с факультетом повышения квалификации и переподготовки разработал учебный план и программу повышения квалификации офицеров, назначенных (или планируемых к назначению) на должности начальников курсов (курсовых офицеров). Обучение будет проводиться в группах по 15 человек, продолжительность обучения 4 месяца (124 аудиторных часа). Целью обучения является получение компетенций, необходимых для эффективного выполнения ими должностных и специальных обязанностей. Это пилотный проект в данном направлении. Для проведения занятий будут привлечены профессорско-преподавательский состав 101, 102, 108, 109, 117-й кафедр, личный состав отделов и служб академии (строевого отдела, отдела кадров, отдела МТО, службы ЗГТ, финансово-экономической службы и медицинской службы). По окончании обучения предусмотрена выдача удостоверения о повышении квалификации.

Завершающий, четвертый, этап подготовки командиров подразделений курсантов представляет собой ответ на вопросы «Что дальше?», «Какие имеются перспективы карьерного становления курсового звена?». Офицер должен знать, что начальник курса – не вершина достижений, а начало дальнейшего роста.

Ответ прост – по результатам положительной оценки совокупности факторов деятельности командира подразделения курсантов (качеству выполнения должностных обязанностей, эффективности управления курсантскими подразделениями, проявлению профессионально-важных качеств) аттестационная комиссия академии утвердит, а офицер, с учетом личных способностей и стремлений, всегда сможет реализовать себя на педагогических, научных и командных должностях в более сложных видах деятельности, таких как:

- адъютантура;
- магистратура;
- кафедры, отделы и службы академии;
- служба в войсках.

Оптимизация системы подбора, подготовки и обеспечения уставной деятельности командиров курсантских подразделений – актуальная проблема управляемости воинского коллектива. От ее решения зависит качество профессиональной подготовки будущего офицера.

Не следует упрощать проблему управления курсантскими подразделениями, недооценивать ее сложность. Мы упустим реальность, если будем рассматривать любое отклонение или нарушение в поведении курсанта как «случайность». Все эти «случайности» прогнозируемы, познаваемы и устраняются адекватной профилактической работой.

Именно высокие личные качества, разносторонние знания, навыки и умения офицеров курсового звена по военно-профессиональной подготовке курсантов в сочетании с квалифицированной помощью со стороны старших начальников и специалистов воспитательной структуры академии позволят решить эту проблему.

Наличие такой системы подготовки командиров курсантских подразделений в академии позволит:

1. Уйти от схемы назначения и снятия с должности по принципу «справится – не справится», метода проб и ошибок.
2. Создать условия для адекватной оценки начальниками курсов (курсовыми офицерами) своих возможностей и реализации права на получение квалифицированной помощи от соответствующих должностных лиц.
3. Обеспечить преемственность положительного опыта и профессиональный рост офицеров курса.

4. Способствовать созданию качественно нового информационного пространства для анализа ситуации в подразделениях, деятельности офицеров курсового звена и своевременной коррекции их деятельности.

Список используемых источников

1. Основы воспитательной и социальной работы и укрепления воинской дисциплины / О.И. Ануфриев, Р.А. Вучко, В.И. Петрухин и др. – СПб.: ВИУ, 1999. – 190 с.
2. Методы работы командира взвода (роты) по укреплению воинской дисциплины / О.И. Ануфриев и др. – СПб.: ВИУ, 1999. – 190 с.
3. Методы работы командира взвода (роты) по укреплению воинской дисциплины / О.И. Ануфриев и др. – Л.: ЛВВТКУ, 1991. – 76 с.
4. Методика работы командира подразделения по организации и проведению обучения и воспитания подчиненных, поддержанию уставного порядка, организации службы войск, жизни и быта личного состава / О.И. Ануфриев и др. – Л.: ЛВВТКУ, 1988. – 119 с.

А.Б. Пауков,
кандидат военных наук, доцент;
Е.А. Инюшева,
кандидат военных наук

К ВОПРОСУ О ТАКСОНОМИИ ЦЕЛЕЙ ЗАНЯТИЙ ПО БОЕВОЙ ПОДГОТОВКЕ

В статье раскрываются актуальные для Вооруженных сил Российской Федерации вопросы системы организации должностных лиц к проведению занятий по боевой подготовке. Качество проведения занятий, эффективность обучения личного состава зависят от умения руководителя правильно методически грамотно подойти к их проведению, что предполагает изучение состава обучаемых, уровня их подготовки; определение учебных целей, замысла занятия; разработку учебно-методических документов. Как показывает анализ документов, практика проведения занятий по боевой подготовке сталкивается с затруднениями формулирования целей – в этой связи представляется актуальным рассмотрение вопроса их иерархического построения.

Ключевые слова: боевая подготовка, цели занятия, вид занятия, процесс обучения военнослужащих.

Боевая подготовка, являясь одним из основных видов подготовки Вооруженных сил, представляет собой целенаправленный, организованный процесс воинского обучения и воспитания военнослужащих, слаживания подразделений, воинских частей, соединений и их органов управления для выполнения боевых задач и других задач в соответствии с их предназначением [1, 7, 8].

Основными элементами системы боевой подготовки являются:

- объект – военнослужащие, подразделения, воинские части, соединения и органы их управления;
- субъект – органы управления и должностные лица, осуществляющие управление боевой подготовкой, проведением мероприятий и ее всесторонним обеспечением;
- содержание обучения – совокупность задач, приемов, нормативов, выполнение которых в соответствии с боевыми уставами, наставлениями и т. п. осваивают военнослужащие, подразделения, воинские части (корабли), соединения и органы их управления (штабы);
- организация обучения – деятельность главнокомандующих (командующих, командиров, начальников), органов управления (штабов) по планированию мероприятий боевой подготовки, постановке (доведению) задач подчиненным войскам (силам), согласованию спланированных мероприятий и их всестороннему обеспечению);
- методика – совокупность форм и методов обучения и воинского воспитания военнослужащих, слаживания подразделений, воинских частей (кораблей), соединений и их органов управления (штабов);
- учебно-материальная база – совокупность материальных средств и технических устройств, а также оборудованных районов местности (учебных объектов и полей), предназначенных для обеспечения обучения военнослужащих по установленным специальностям, слаживания подразделений, воинских частей (кораблей), соединений и органов их управления (штабов) в соответствии с программами и учебными планами, а также для проведения военных исследований [7].

В качестве результата боевой подготовки рассматривается совокупность знаний, умений, навыков и качеств военнослужащих, слаженность органов управления, подразделений, воинских частей (кораблей) и соединений, при наличии которых они могут успешно выполнить боевую задачу или другую задачу в соответствии с их предназначением [6, 7].

Содержание обучения выражается через предметы обучения в ходе проведения различных видов занятий.

Занятия – обобщенное название форм обучения военнослужащих. Основным содержанием занятий является передача руководителем информации обучаемым, ее усвоение, а также обучение приемам действий.

При этом *форма обучения* – самостоятельный вид занятий, характеризующийся конкретным, присущим только ему ведущим методом обучения, существенными характеристиками и другими признаками, которые делают данную форму обучения тождественной себе самой и отличной от других форм [5, 10].

Практика боевой подготовки показывает, что качество и методический уровень проведения занятий, эффективность обучения личного состава зависят от умения руководителя правильно подготовиться к его проведению.

Таким образом, обязанностями руководителя при подготовке к занятию являются:

– *уяснение* задачи, предназначения, формы (метода) занятия, его темы и времени проведения;

– *оценка обстановки* (задач, стоящих перед обучающимися, состава обучаемых и уровня их подготовки, продолжительности занятия, места его проведения, времени года, погодных условий, возможностей учебно-материальной базы, нормы расхода ресурса вооружения, военной и специальной техники, технических средств обучения, боеприпасов, имитационных средств и т. д.);

– *выработка и принятие решения* на подготовку и проведение занятия (определение учебных целей, замысла занятия, организации его осуществления и обеспечения, мер по предотвращению гибели и травматизма личного состава), а также вопросов, по которым в ходе занятия следует организовать состязание между обучающимися);

– *разработка учебно-методических документов* для проведения занятия – плана проведения занятия или плана-конспекта;

– *личная подготовка* к проведению занятия и *организация подготовки* своих помощников (инструкторов) и обучаемых;

– *выбор места* или района проведения занятия с определением необходимых требований безопасности;

– *подготовка материального обеспечения* занятия, наглядных пособий, технических средств обучения, необходимой техники и вооружения;

– *утверждение плана проведения* (плана-конспекта) занятия у непосредственного начальника;

– при необходимости, передача обучающимся задания (исходной обстановки) для их предварительной подготовки;

– осуществление накануне занятия (вместе с помощником) проверки готовности к занятию личного состава и техники, технических средств обучения, учебно-материальной базы;

– *доклад* (в установленное старшим начальником время) о готовности к проведению занятия.

Руководитель должен ясно представлять содержание и цель предстоящего занятия, т. е. осознавать, чего он хочет добиться в результате проведения занятия. Большое значение для достижения намеченного результата боевой подготовки имеет правильное формулирование целей учебных занятий.

Как правило, на каждое занятие формулируются две-три цели. *Первая* цель – что нового должны изучить и чему научиться на занятии подчиненные. *Вторая* – какие навыки и умения, полученные на предстоящих занятиях, совершенствовать. Эти цели определяются из задач обучения и методических указаний, имеющихся по каждому предмету обучения

в программе боевой подготовки подразделений. Третья цель – воспитательная – направлена на выработку у подчиненных морально-психологических качеств [2, 4].

В то же время действующие в настоящее время руководящие документы, содержащие указания и требования по вопросам боевой подготовки, к сожалению, не всегда устанавливают конкретные цели того или иного вида занятия, либо устанавливают их не совсем корректно.

Например, согласно Наставлению по боевой подготовке в Вооруженных силах Российской Федерации **лекция** – форма теоретических занятий, проводимая с целью устного изложения материала в сочетании с демонстрацией наглядных пособий руководителем занятия. Данное определение предполагает, что достижение цели занятия возможно при условии, что руководитель зачитал текст лекции, сопровождая демонстрацией наглядных пособий [7]. По таким видам занятий, как **собеседование, комплексное занятие, выход подразделения на полигон** цели не определены вообще.

В целях установления единства в понимании и применении форм, методов и средств обучения и воспитания в процессе боевой подготовки представляется целесообразным, чтобы целевые установки на каждое занятие рассматривались на заседаниях методических советов воинских частей и доводились до руководителей занятий в форме методических рекомендаций, типовых (опорных) конспектов.

В качестве примера представляется возможным рассмотреть следующие целевые установки лекции как вида занятий по боевой подготовке.

Лекция, составляя основу теоретического обучения, проводится с целью устного изложения систематизированных основ общевоенных и специальных знаний, раскрытия теоретических основ тактики современного боя, физических основ и принципов работы вооружения, военной и специальной техники, теории стрельбы и материальной части оружия, стимулирования активной самостоятельной работы обучаемых [4].

В данном контексте цели данного вида занятий отражают суть процесса обучения – процесс закономерный и диалектически развивающийся.

Цель – предполагаемый результат деятельности; заранее осознанный и планируемый результат (его идеальная модель). Достижение этого результата требует сознательной целенаправленной длительной и организованной (целеполагающей) деятельности человека – она не выдумывается, а диктуется требованиями подготовки войск.

В процессе обучения военнослужащих его цели классифицируются на главные, общие, предметно-специфические и частные.

Главная цель обучения – военно-профессиональная подготовка военнослужащих к качественному выполнению обязанностей, решению задач по службе.

Общие цели касаются специальности, учебной дисциплины (предмета), которые изучаются на протяжении всего периода обучения.

Предметно-специфические цели связаны с задачами, которые должен научиться решать военнослужащий после освоения данного предмета на различных этапах обучения.

Частные цели имеют отношение к изучению конкретных разделов и тем, вопросов этих учебных предметов.

Формулировка главной цели обучения, построение иерархии ее подцелей обеспечивают правильность выбора средств, методов и организационных форм обучения, норм, темпа и последовательности подачи учебного материала [3].

В настоящее время остро ставится вопрос о необходимости дальнейшего повышения качества подготовки высококвалифицированных офицерских кадров, способных успешно решать задачи как по обучению и воспитанию подчиненных, так и по управлению вверенными им подразделениями в современном бою и повседневной жизни.

В этой связи повышается роль преподавательского состава, непосредственно участвующего в организации и ведении образовательного процесса с целью его дальнейшего совершенствования, повышения качества обучения и воспитания.

Список используемых источников

1. Военный энциклопедический словарь. – М.: Воениздат, 2007. – 863 с.
2. Дьяченко В. К. Новая дидактика. – М.: Народное образование, 2001. – 496 с.
3. Ефремов О.Ю. Военная педагогика: учебник. – СПб.: Питер, 2008. – 640 с.
4. Основы военной педагогики и психологии: конспект лекций / И.Ю. Лепешинский, В.В. Глебов и др. – Омск: ОмГТУ, 2011. – 180 с.
5. Литвинская И. Г. К вопросу о формах организации обучения // Коллективный способ обучения. – 2007. – № 9. – С. 36–47.
6. Мкртчян М. А. Становление коллективного способа обучения: монография. – Красноярск, 2010. – 228 с.
7. Наставление по боевой подготовке Войск воздушно-космической обороны. – М.: Воениздат, 2013. – 220 с.
8. Общевоинские уставы Вооруженных Сил Российской Федерации. – М.: «Омега-Л», 2014. – 624 с.
9. Rogozin D.O. Война и мир в терминах и определениях: словарь. – М.: изд-во: ИД «Порог», 2004. – 624 с.
10. Слостенин В.А., Исаев И.Ф., Шиянов Е.Н. Педагогика: учеб. пособие / под ред. В.А. Слостенина. – М.: издательский центр «Академия», 2002. – 576 с.

М.А. Горшков,

кандидат педагогических наук;

С.Ю. Окунев,

кандидат исторических наук, доцент

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ КУРСАНТОВ ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ В ХОДЕ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ВОЕННАЯ ИСТОРИЯ»

В статье рассмотрены роль критического мышления в познавательном процессе, необходимость его развития как с точки зрения эффективности познания в целом, так и с точки зрения формирования компетенции, предусмотренной ФГОС и квалификационными требованиями. Показаны различные подходы к определению критического мышления и позиция авторов в данном вопросе. Критическое мышление развивается в образовательном процессе и без специальных воздействий, стихийно – в статье указаны возможные факторы целенаправленного формирования критического мышления курсантов и предложены методические рекомендации по его формированию.

Ключевые слова: критическое мышление, творческое мышление, деятельностный подход, военная академия, военная история.

Сегодня не только объем информации в нашем обществе растет в лавинообразной прогрессии, сама информация усложняется со все возрастающей скоростью и весьма быстро «устаревает». Это означает, что система образования, ориентированная на выпускника, который обладает некой абстрактной суммой знаний, навыков, умений в определенной отрасли, области науки, не может отвечать ее современным динамичным требованиям.

Важным становится не само обладание информацией, а способность к ее эффективному усвоению, осмыслению и переработке. Поэтому актуальной является проблема формирования у курсантов военной академии умений работы с объемными и сложными по форме и содержанию информационными потоками. Одним из таких важных умений является *критическое отношение к поступающей информации*.

Это умение является выражением развитости критического мышления. Причем необходимо отчетливо понимать, что критическое мышление предполагает критическую оценку ситуации и нахождение рационального решения, а не является просто критиканством как критикой ради самой критики, а не ради истины.

Обращение к изучению критического мышления имеет давнюю историю. Из античности нам известен метод опроса Сократа, предполагавший подвергать сомнению всю поступающую информацию. Данный метод является основной стратегией критического мышления.

Рене Декарт [1] развивал метод критической мысли, основанной на принципе систематического сомнения.

С.Л. Рубинштейн [2] подчеркивал важность наличия критического мышления. Он считал, что «Проверка, критика, контроль характеризуют мышление как сознательный процесс. Критичность – существенный признак зрелого ума. Некритический, наивный ум легко принимает любое совпадение за объяснение, первое подвернувшееся решение – за окончательное».

Ряд исследователей видят в критическом мышлении не только познавательный, но и личностный аспект.

Так, *Ю.А. Самарин* [3] рассматривает критическое мышление как результат обобщенного опыта человека – удач и особенно неудач. Являясь обобщением человеческого опыта, критичность ума, вместе с тем, влияя на протекание умственных процессов, становится чертой личности.

М.Н. Шарданов [4] рассматривает критичность мышления как направленность личности школьников и оценочное отношение к рассматриваемому явлению. Автор подчеркивает, что критичность мышления начинает развиваться в пределах накапливаемого опыта и знаний об окружающих предметах и явлениях.

То есть здесь уже соотносятся понятия «критическое мышление» как познавательная характеристика и «критичность мышления» как свойство личности.

При рассмотрении критического мышления нельзя не упомянуть весьма известную работу американского психолога *Д. Халперн* «Психология критического мышления» [5]. Автор определяет критическое мышление как «использование таких когнитивных навыков и стратегий, которые увеличивают вероятность получения желаемого конечного результата». Однако, на наш взгляд, предлагаемое ею определение не является достаточно корректным, так как под такое определение подходят многие психолого-педагогические понятия и категории и, прежде всего, продуктивное мышление. По большому счету, от любой используемой мыслительной стратегии ожидают увеличения вероятности получения желаемого результата.

Знаменитый философ *К. Поппер* [6] выделяет критическое мышление, противопоставляя ему догматическое. По его мнению, догматическое мышление склонно к поискам регулярности и наложению законов на природу, оно ожидает регулярности повсюду. Для критического же мышления характерна готовность изменять, проверять, опровергать. В качестве основы рассуждений принимается некоторая «схема ожидания» (предположения, гипотезы), которая, однако может быть модифицирована, исправлена или даже отброшена как не соответствующая действительности. Данная позиция представляется потенциально продуктивной, однако в такой форме она носит скорее концептуальный, нежели прикладной характер.

Г.М. Коджаспирова и *А.Ю. Коджаспиров* дают следующее определение. *Критическое мышление – способность анализировать информацию с позиций логики, умение выносить обоснованные суждения, решения и применять полученные результаты, как к стандартным, так и нестандартным ситуациям, вопросам и проблемам. Этому процессу присуща открытость новым идеям* [7].

Критическое мышление предполагает готовность человека, как бы трудно это иной раз ни было, пожертвовать сложившимися мнениями с готовыми решениями, способность – в случае их неэффективности – отступить и от слишком простых идей. Оно же позволяет предохранить человека от излишнего доверия, и в первую очередь – к самому себе.

Открытость критического мышления, между тем, основывается на таких чертах, как постоянное стремление к поиску истины и уверенности в том, что собственные выводы могут быть несвободны от ошибок и заблуждений, поскольку знания любого человека ограничены.

Авторы отличают от мышления понятие «ум» как обобщенную характеристику познавательных возможностей человека (в отличие от чувств и воли). В более узком смысле ум – совокупность индивидуальных способностей к накоплению знаний, совершению мыслительных операций. Наряду с критичностью авторы выделяют еще ряд свойств ума: быстроту, ясность, глубину, гибкость, широту и креативность.

Исследователь *З.И. Калмыкова* [8] трактует критичность как качество ума следующим образом. *Критичность ума – способность объективно оценивать результаты деятельности других людей и своей собственной, признавать возможности разных точек зрения, уметь их анализировать*. Сюда же автор относит способность к рефлексии своей психической деятельности, что является необходимым, но недостаточным условием объективности.

Однако *З.И. Калмыкова* не уточняет, что она понимает под результатами деятельности. На наш взгляд, результат предполагает какую-то уже конечную точку рассуждений. Критичность же целесообразнее применять, в первую очередь, на этапе оценки гипотез, как этапе, предшествующем принятию решения.

Таким образом, позиция *Г.М. Коджаспировой* и *А.Ю. Коджаспирова* в определении понятия «критическое мышление» представляется наиболее взвешенной и практичной.

При этом хотелось бы подчеркнуть, что критическое мышление не обязано быть совершенно оригинальным. Можно принять и существующее положение дел, способы действий, если результаты анализа показывают их превосходство.

Критическое мышление часто противопоставляется творческому мышлению, при этом указывается, что последнее ведет к новым инсайтам и решениям, в то время как первое выполняет функции проверки существующих идей и решений на наличие недостатков или ошибок.

Значительное количество исследователей придерживаются позиции, что творческое мышление обязательно предполагает сформированность критического мышления как его составляющей. На основе критического осмысления уже имеющегося продукта не только выявляются недостатки и ошибки, но и конструируются способы доработки первоначально созданного продукта до уровня эталона.

Так, роль критичности в творческой деятельности отмечает *А.А. Смирнов* [9] – «самостоятельность и критичность ума являются необходимыми предпосылками творческой деятельности».

Однако существует другая позиция (*Гордон* [10]), рассматривающая критичность мышления как тормоз на пути творчества. Для повышения творческого потенциала отдельных субъектов и целых групп *Гордон* рекомендует мероприятия снижающие критичность, что дает возможность актуализироваться психологическим механизмам, обеспечивающим творческий акт.

Г. Линдсей, К. Халл, Р. Томпсон [11] считают, что для эффективного решения задач необходимо разумное сочетание творческого и критического мышления. Авторы подчеркивают их тесную взаимосвязь, взаимозависимость и отмечают, что творчество будет малопродуктивным, если не уметь критически проверять и рассортировывать полученную информацию.

Практическая реализация эффективного сочетания творческого и критического мышления осуществлена в методе «мозгового штурма» *А. Осборна* [12].

В данном вопросе мы придерживаемся позиции, признающей наличие взаимосвязи данных понятий. Поэтому и считаем, что развитие критического мышления как основы мышления творческого способствует реализации в обучении компетентностного подхода.

В частности, процесс освоения дисциплины «Военная история» в соответствии с ФГОС и квалификационными требованиями направлен на формирование такой компетенции, как способность творчески использовать опыт прошлых войн и вооруженных конфликтов для понимания диалектики развития средств и способов вооруженной борьбы, военной мысли и военного строительства, квалифицированного использования военно-исторического опыта в практической работе.

Поэтому, несмотря на то, что непосредственно формирование критичного мышления в требованиях к результатам обучения не заявлено, необходимость его развития очевидна.

Формирование критического мышления у курсантов, на наш взгляд, происходит в образовательном процессе не всегда и не по умолчанию. Критическое мышление формируется в том случае, когда требуется не механическое запоминание учебного материала, а его критическое осмысление. Различные учебные дисциплины играют важную роль в развитии тех или иных аспектов мышления в процессе обучения в военном вузе. Критическое мышление, на наш взгляд, развивается, в том числе, и в процессе изучения «Военной истории».

Этому во многом способствует то, что оценка явлений, рассматриваемых в ходе изучения учебных дисциплин «История», «Военная история», является весьма дискуссионной, и в то же время непосредственно затрагивает самые широкие слои населения. Официальные формулировки хода, результатов военных действий корректируются в зависимости от сегодняшних международных отношений, внутривосточных событий. Стороны, принимавшие участие в военных действиях, могут диаметрально противоположно оценивать событие. Примерами могут служить сражения эпохи наполеоновских войн.

Пултуское сражение, произошедшее 26 декабря 1806 года, современными историками оценивается как закончившееся без явного перевеса в ту или иную сторону. Однако командующие обеих армий доложили своим императорам о победе. Сражение у Прейсиш-Эйлау 27 января 1807 года также не выявило победителя, обе армии отошли на исходные позиции. Но то, что с наступлением темноты русская армия ушла из-под Прейсиш-Эйлау, позволило французам говорить о своей победе. И это несмотря на то, что потери у них были большими, чем у русских [13].

Однако, для того, чтобы убедиться в верности положения о неоднозначности оценок военных действий необязательно обращаться к далекому прошлому. На наших глазах фактически ведутся военные действия на Украине. Информация о ходе событий, поступающая от противоборствующих сторон, крайне противоречивая и противоположная. Аргументы для доказательства своей правоты обе стороны предоставляют в значительном количестве.

Поэтому значение учебной дисциплины «Военная история» в формировании критического мышления не то, чтобы трудно – невозможно переоценить.

Критичность формируется не только в отношении к самим знаниям, но и по отношению к способам их усвоения и добывания. Стимулировать выдвижение обучающимися новых идей, разрушающих привычные стереотипы и общепринятые взгляды, не навязывать обучающимся единственный путь решения проблемы, а учить их активному альтернативному, более рациональному выбору приемов и способов решения задачи – вот цель обучения критическому мышлению.

Целенаправленность процессу формирования критического мышления может придать использование соответствующих технологий.

Широко известной является технология РКМЧП – «развитие критического мышления через чтение и письмо». В этой технологии авторы *Дж. Стил, К. Меридит, Ч. Темпл* [14] выделяют три стадии: «вызов», «осмысление содержания» и «рефлексия».

Стадия «вызов» направлена на вызов у учащихся уже имеющихся знаний по изучаемому вопросу, активизацию их познавательной деятельности, мотивацию к дальнейшей работе.

Стадия «осмысление содержания» направлена на сохранение интереса к теме при непосредственной работе с новой информацией, постепенное продвижение от старого знания к новому.

На этапе «рефлексии» преподаватель возвращает учащихся к первоначальным записям-предположениям, вносит изменения, дополнения.

Однако, в целом, данная методика разработана для школьного обучения и требует существенной доработки для ее использования в высших учебных заведениях. Это касается во многом личностной сферы. Школьники, особенно младшие, более непосредственны и действительно стараются выдвинуть какие-либо оригинальные идеи, не в пример лицам более зрелым – ведь курсанты на стадии *вызова*, столкнувшись с требованием назвать какие-либо события, факты, связанные с рассматриваемой темой, подчас осторожничают, не хотят показаться товарищам невеждами, вызвать смех неточностями или ответами не в попад.

Если рассматривать технологию детально, то название второй стадии и ее содержание, точнее деятельность преподавателя, несколько диссонируют. Сохранение интереса, на чем сделан основной упор авторами при рассмотрении второй стадии, в большей степени относится к мотивационной сфере (в то время как словосочетание «осмысление содержания» ассоциируется с познавательной сферой).

Но полностью отрицать применимость в военной академии данной технологии нельзя. Стадия «вызов» предполагает, что обучающиеся должны сами называть какие-либо факты по рассматриваемому вопросу. Их активность можно повышать за счет внешнего стимулирования – давать дополнительный балл за каждый релевантный названный факт. Но, исходя из опыта преподавания, можно отметить, что данный процесс затягивается, теряется динамика занятия. Целесообразнее самому преподавателю на классной доске выписывать ключевые слова и положения в форме достаточно неявной, требующей интеллектуального усилия для

того, чтобы курсант мог установить существующие между ними связи, а главное – обосновать их. Прием «верные и неверные утверждения» также целесообразно использовать в ходе письменного опроса – таких утверждений из материала лекции можно выделить достаточно много для того, чтобы они не повторялись, и у каждого курсанта было действительно индивидуальное задание.

Целенаправленному развитию критического мышления в рамках учебной дисциплины «Военная история» способствует и специальным образом организованная учебная деятельность курсантов. В ходе подготовки к семинару для рассмотрения какого-либо события – битвы, операции, – к примеру, могут быть назначены два курсанта. Один аргументирует правильность принятых решений какой-либо стороной, другой – их неправильность. Либо, хотя это уже уровень слушателей, один обучающийся на местности, где происходила операция, с учетом существовавших на то время группировок предлагает вариант ее проведения, а другой осмысливает критически предложенный вариант. Варианты могут быть различны. Нельзя забывать, что учебная дисциплина «Военная история» является военно-профессиональной. Поэтому своего рода «игра за противника» при изучении опыта прошлых войн будет способствовать развитию профессионально-важных качеств, знаний, умений и навыков, а в целом отвечать требованиям компетентностного подхода.

Таким образом, изучение учебной дисциплины «Военная история» в значительной степени способствует формированию критического мышления.

Творческое применение существующих признанных методик формирования критического мышления в условиях обучения в военном вузе не только возможно, но и необходимо. Перспективным в данном направлении представляется использование положений технологии «развитие критического мышления через чтение и письмо».

Список используемых источников

1. *Асмус В.Ф.* Декарт: Классика философской мысли. – М.: Высшая школа, 2006. – 335 с.
2. *Рубинштейн С.Л.* Основы общей психологии: в 2 т. – М., 1989. – Т.1. – 488 с.
3. *Самарин Ю.А.* Очерки психологии ума. Особенности умственной деятельности школьников. – М., 1962. – 504 с.
4. *Шарданов М.Н.* Очерки психологии школьника. – М., нет изд. 1994.
5. *Халтерн Д.* Психология критического мышления. – СПб.: Питер, 2000. – 512 с.
6. *Поппер К.* Открытое общество и его враги: в 2 т. – М.: Феникс, 1992.
7. *Коджаспирова Г.М., Коджаспиров А.Ю.* Педагогический словарь для студентов высших и средних педагогических учебных заведений. – М.: издательский центр «Академия», 2003. – 176 с.
8. *Калмыкова З.И.* Продуктивное мышление как основа обучаемости. – М.: Педагогика, 1981. – 200 с.
9. *Смирнов А.А.* Избранные психологические труды. – М., 1987.
10. *Андерсон Д.Р.* Когнитивная психология. – СПб.: Питер, 2002. – 492 с.
11. *Линдсей Г., Халл К.С., Томсон Р.Ф.* Творческое и критическое мышление // Познавательные психические процессы / под ред. А.Г. Маклакова. – СПб.: Питер, 2001.
12. *Осборн А.* Прикладное воображение: принципы и процедуры творческого решения проблемы. – М., 1953. – 126 с.
13. *Военная история: учеб. пособие: в 2 ч. / В.Л. Бельтюков, К.Б. Муксинов, С.Ю. Окунев, Д.В. Садыков.* – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – Ч. 1. – 408 с.
14. *Дж. Стал, К. Мередит, Ч. Темпл.* Чтение и письмо для критического мышления. – М., 1997. – 94 с.

И.Ю. Дмитриева

ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПСИХОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛИЧНОСТИ НА УСПЕШНОСТЬ ВОСПРИЯТИЯ И ЗАПОМИНАНИЯ ИНОЯЗЫЧНОЙ ЛЕКСИКИ

В статье рассмотрены основные проблемы, возникающие у курсантов при изучении иностранных слов и причины, их порождающие. Предлагаются мнемонические приемы овладения лексикой, которые основаны на теоретических выводах когнитивной психологии, лингвистики и физиологии.

Ключевые слова: лексические навыки, восприятие, запоминание, когнитивные типы, мнемонические приемы, типы памяти, индивидуальные особенности, профессиональная актуализация.

Знание иностранного языка является неотъемлемой частью профессиональной подготовки выпускника военно-технического вуза. Оно расширяет профессиональную компетентность специалистов, обеспечивает знакомство с зарубежными достижениями в профессиональной области, помогает наладить деловые контакты, способствует успешному профессиональному общению.

Успех в лингвопрофессиональной подготовке будущего специалиста предполагает опору на определенный запас как общеупотребительной, так и профессиональной лексики, который позволяет сформировать навыки и умения в различных видах речевой деятельности. Объем иноязычного вокабуляра выступает одним из показателей достижения высокого уровня развития лексической компетенции. Следовательно, формирование лексических навыков является основной практической целью обучения профессионально-ориентированному языку. Под *лексическим навыком* понимают способность автоматизировано вызывать из долговременной памяти слово, словосочетание или готовую фразу, соответствующую коммуникативной задаче [1]. Как известно, слова включены в сложную систему лексико-семантических отношений, которые интегрируют два типа структурных отношений – парадигматические и синтаксические связи. Как показывают исследования, именно прочные парадигматические связи слов обеспечивают стойкость запоминания и автоматический вызов слова из долговременной памяти. Без них навык соединения слов в словосочетание и предложение на уровне синтагматических связей не срабатывает.

Однако следует признать, что формирование соответствующих лексических навыков остается слабым местом подготовки в силу целого комплекса причин.

Во-первых, это сложности объективного порядка, характерные для любого военно-инженерного вуза, в числе которых:

- большой разброс в базовом уровне знаний, с которыми обучающиеся пришли из школы;
 - низкая мотивация изучения языка у «технарей», так как их внимание полностью сосредоточено на профильных предметах, связанных с профессиональной деятельностью;
 - отсутствие реальной языковой среды, делающее общение на иностранном языке искусственным, чисто учебным,
- и, как следствие этого,
- недостаток активной мотивированной устной практики.

Во-вторых, обучение иностранному языку в военном вузе имеет дополнительные особенности и ограничения, среди которых:

- совмещение обучения с выполнением служебных обязанностей;
- жесткая регламентация учебного процесса;

- неблагоприятная частотно-временная периодичность занятий;
- ограничение доступа к Интернету и аудиовизуальным средствам;
- недостаточное количество учебных часов и часов, отведенных на самостоятельную работу.

Отмечено, что по сравнению с другими учебными дисциплинами, иностранный язык характеризуется специфическим соотношением знаний и умений. В отличие от других учебных предметов, предполагающих овладение знаниями по отдельным тематическим разделам, успешное владение иностранным языком «требуется знания всей грамматики, всей лексики без каких-либо ограничений» [2], что приводит к большим затратам энергии и волевых усилий.

Изучение иностранного языка связано у курсантов военно-технического вуза и с рядом субъективных трудностей, а именно:

- различиями в психологических особенностях восприятия и запоминания нового материала;
- преимущественно техническим складом ума, отсутствием языкового чутья;
- отсутствием умений выполнять все виды учебной деятельности (слушать и записывать материал, вести конспект; выступать перед аудиторией, давать аналитическую оценку проблем);
- индивидуальными особенностями личности, как например, робостью, напряженностью, низкой самооценкой, апатичностью, отсутствием воли [3].

Современная методика обучения иностранному языку тесно взаимосвязана с психологией. Эта связь определяется тем, что методика должна учитывать психологические закономерности таких когнитивных процессов, как восприятие, память, мышление, а также воспроизведение языкового материала при формировании иноязычной коммуникативной компетенции в зависимости от возраста.

Благодаря исследованиям когнитивной психологии появляется возможность максимально эффективно организовать учебную деятельность для каждого обучающегося с учетом его когнитивного типа. Например, контекстно-зависимые обучающиеся лучше усваивают материал в контексте, требуют большое количество примеров, любят догадываться о значении слов из контекста, не обращаясь к словарям. Грамматические таблицы не помогают им в обучении. Контекстно-независимые обучающиеся легко анализируют материал с помощью таблиц и графиков, списков слов, игнорируют объяснения, пытаются строить свои выводы.

Значимость лексики в обучении иностранному языку неоднократно подчеркивалась психологами и методистами, которые отмечают, что речевые лексические навыки существенно отличаются от грамматических и характеризуются большей осознанностью, что проявляется в выборе слов и их сочетаемости в зависимости от целей коммуникации [4].

Работа над расширением словарного запаса сопровождает весь процесс обучения иностранному языку. Первичное усвоение иноязычной лексики связано с ее запоминанием «вглубь», по семантическим параметрам, и «вширь», по количественным параметрам. Отсюда возникает проблема объема лексики, подлежащей усвоению. Поурочная лексическая доза для обучающихся неязыковых вузов достигает 30 английских слов (терминов). Многозначность слова и его количественный состав вносят дополнительные трудности в процесс усвоения, запоминания и использования лексики. Если, учитывая явления полисемии и синонимии, трактовать каждое значение слова как самостоятельную единицу, то количество слов, подлежащих усвоению за урок, существенно возрастает. В научной литературе показано, что для осуществления успешного иноязычного общения необходим объем лексики в 5000 единиц. Курсантам военного вуза такой объем лексики и ее специфическая сложность зачастую кажутся чрезмерными и непосильными.

Нам представляется, что усвоение, запоминание и дальнейшая актуализация лексики будут проходить успешнее, если учесть следующие факторы:

- 1) критерии отбора лексических единиц;

- 2) семантизацию новой лексики;
- 3) психофизиологические особенности обучающихся;
- 4) наличие времени для систематической самостоятельной работы.

При изучении иностранного языка большая доля отработки языкового материала происходит самостоятельно, так как лексические знания, умения и навыки могут быть сформированы только при условии активной учебной деятельности самого обучающегося. Однако, работая над расширением словарного запаса, курсанты сталкиваются с рядом проблем.

1. Проблема заучивания и запоминания новой лексики. Изучение языка требует обязательного запоминания значительного объема слов, напряжения памяти (слуховой, зрительной, логической, двигательной). Известно, что способность к запоминанию у всех разная, и это следует учитывать преподавателю. По динамике заучивания люди делятся на несколько групп:

- быстро заучивающих и медленно забывающих;
- медленно заучивающих и медленно забывающих;
- быстро заучивающих и быстро забывающих;
- медленно заучивающих и быстро забывающих.

Самостоятельная работа по подготовке к занятию зачастую вызывает раздражение и скуку, поскольку курсанты знакомы лишь с самым примитивным методом накопления словаря – механическим заучиванием. Между тем, психологи отмечают, что в возрасте 17–20 лет у обучающихся наблюдается противоречие между мнемическим и логическим развитием. Возможности логических преобразований усвоенного материала возрастают, а способность длительно запоминать и сохранять усвоенное временно ослабевает, что делает механическое запоминание низкоэффективным. Примерно в 20 лет при изучении иностранного языка обучающиеся обычно уже не пользуются механической памятью, которая может быть компенсирована другими компонентами, например, логической памятью, вербальным мышлением, слуховым восприятием. Курсанты этой возрастной группы уже владеют сложными мыслительными операциями: анализом, синтезом, сравнением, обобщением, систематизацией, абстракцией, конкретизацией; имеют довольно богатый понятийный аппарат [5].

2. Проблема активного использования изученной лексики. Как показывает опыт, новая лексика не только плохо усваивается, но и трудно воспроизводится в речи. Отсутствие сформированного лексического навыка приводит к тому, что большинство курсантов предпочитают пользоваться лексикой, усвоенной в школьном курсе; в спонтанных высказываниях выбирают самые примитивные слова, которые «всплывают» в памяти автоматически. Причиной быстрого забывания изученного зачастую является отсутствие мотивированного интереса к предмету, и, как следствие этого, нежелание систематически и осознанно работать над расширением и совершенствованию своего словарного запаса.

3. Проблема выбора подходящего значения многозначного слова при переводе. В вузе, столкнувшись с профессиональным текстом, некоторые курсанты впервые узнают, что иностранное слово бывает многозначным. Они не имеют навыков выбора подходящего значения слова (термина) из большого количества вариантов. Читая текст, курсанты редко проверяют значение знакомого слова по словарю, так как уверены в его переводе. Свой неудачный перевод они объясняют *трудностью текста*.

Эффективное усвоение иноязычной лексики обусловлено индивидуальными особенностями познавательной сферы. У одних обучающихся больше развита образная память, у других – словесно-логическая (вербальная). Словесно-логической памяти принадлежит основная роль в усвоении знаний в процессе обучения. Она отличается высокой скоростью и легкостью образования ассоциативных связей, отражающих слово, его звучание, образ. Ассоциативность как один из способов функционирования правого полушария мозга – незаменимое свойство при создании системных блоков на уровне лексико-семантических отношений и парадигматических языковых структур.

Экспериментально доказано, что обучающиеся удерживают в памяти значительно больше «осмысленного» материала, чем механически вытверженного, ибо осмысленное запоминание основывается на обобщенных и систематизированных ассоциациях, которых у курсантов больше, чем у школьников. Это означает, что учебные задания должны быть одновременно направлены как на понимание (осмысление), так и на запоминание и структурирование в памяти усваиваемого материала, его сохранение и целенаправленную актуализацию.

Существуют различные мнемонические приемы, помогающие преодолевать трудности, связанные с запоминанием новой лексики. Эти приемы учитывают индивидуально-психологические различия в способности обучающихся к усвоению иностранного языка, и такие их психофизиологические особенности, как зрительная, слуховая или кинетическая память, импульсивный или рефлексивный тип мышления, а также уровень интеллекта, культуры, жизненного опыта и фоновых знаний.

Приемы формирования лексических умений, которые способствуют успешному запоминанию и воспроизведению иностранных слов, включают:

- развитие способности выделять профессионально значимую лексическую единицу;
- проговаривание слова/термина в определенном ритмическом рисунке;
- системную группировку слов, обобщение слов по частям речи;
- развитие умения словообразования (знание способов образования слов и значений аффиксов);
- навык в работе со словарями, учитывая многозначность при выборе слова;
- знакомство с механизмами перевода терминов: транскрипцией, транслитерацией, калькой, описательным переводом;
- использование потенциала ассоциативных связей разного вида (по сходству, смежности, противоположности; группировкам, классификации);
- использование прямого и «обратного» перевода слов;
- развитие умения контекстуальной догадки;
- знакомство с терминами латинского происхождения;
- умение переводить интернациональные слова;
- активное повторение, т. е. многократное припоминание и воспроизведение слова или термина по памяти;
- развитие умения встроить новое слово в уже имеющийся языковой базис [6].

Преподаватель должен так комбинировать вышеперечисленные приемы на занятиях, чтобы учитывать специфические особенности «визуалов», «аудиалов» и «кинестетиков».

Таким образом, при работе с лексикой преподавателю необходимо решить как минимум две задачи.

1. Организовать эффективную работу в аудитории, которая предусматривает:

- обеспечение сочетания перцептивных и мыслительных процессов с мнемическими;
- цикличное и концентрированное повторение лексического материала;
- использование потенциала разного вида ассоциативных связей;
- формирование и развитие у курсантов устойчивой внутренней мотивации к расширению лексического запаса.

2. Помочь каждому курсанту выбрать успешную тактику самостоятельной работы с иноязычной лексикой в зависимости от его индивидуальных особенностей, типа памяти и психологического склада.

Контекстно-зависимым – предлагать систему алгоритмов действий в виде инструкций и памяток, давать больше примеров.

Контекстно-независимым – предоставить возможность выстраивать собственные смысловые связи, что будет способствовать успешному усвоению ими иностранных слов.

Нам представляется, что умение обучающихся использовать различные приемы запоминания и усвоения иноязычной лексики будет способствовать более успешному изучению иностранного языка в целом.

Список используемых источников

1. *Миньяр-Белоручев Р.К.* Методика обучения французскому языку. – М.: Просвещение, 1990. – 223 с.
2. *Зимняя И.А.* Лингвopsихология речевой деятельности. – М.: МПСИ; Воронеж: МОДЭК, 2001. – 432 с.
3. *Евдоскина Н.В.* Психологические особенности изучения иностранного языка студентами технических вузов // Вестник АГТУ. – 2007. – № 2 (37). – С. 273–277.
4. *Беляев Б. В.* Очерки по психологии обучения иностранным языкам. – М.: Просвещение, 1965. – 228 с.
5. *Ананьев Б.Г.* К психофизиологии студенческого возраста // Современные психолого-педагогические проблемы высшей школы. – Л.: ЛГУ, 1974. – 112 с.
6. *Вепрева Т.Б.* Обучение профессионально-ориентированной иноязычной лексике студентов неязыковых специальностей на основе интегрированного курса. – СПб.: СПГУ, 2012.

Г.В. Порошина,
кандидат техн. наук;

П.А. Коваль,
кандидат психологических наук

ОЦЕНИВАНИЕ ТЕКУЩЕЙ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Изложен подход к оцениванию текущей социально-психологической обстановки (СПО). Рассмотрены основные элементы СПО и этапы ее оценивания.

Ключевые слова: социально-психологическая обстановка, морально-психологическое состояние, общественное мнение, массовые настроения, массовые действия.

В условиях существенного обострения военно-политической обстановки в мире возникает потребность в своевременном и всестороннем изучении иностранных государств – вероятных противников, причем не только их вооруженных сил, но и всех областей их деятельности. Одним из элементов изучения потенциального противника является оценка социально-психологической обстановки (СПО) в стране (районе, регионе). Оценка СПО направлена на выявление основных проблем и конфликтов в социальной и духовной сферах, прогнозирование внутренней и внешней политики государства.

Социально-психологическая обстановка является проявлением духовной жизни общества и определяется господствующими в обществе идеями, взглядами, социальными чувствами, настроениями, побуждениями, а также характером взаимоотношений между различными элементами социальной системы (классами, слоями, этническими группами).

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ОЦЕНИВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

На *первом этапе оценивания СПО* проводится сбор, накопление и систематизация в форме досье основных сведений по изучаемым странам. Досье непрерывно обновляется и пополняется на основе текущей информации. Особое внимание должно уделяться факторам и условиям, влияющим на формирование и развитие СПО. К внутренним факторам относятся: количественный и качественный состав населения страны (района, региона), особенности социально-политической системы, национально-психологические характеристики населения, культура, быт, нравы, обычаи, традиции и т. д. Ключевым внешним фактором, формирующим СПО, является информационно-психологическое воздействие, оказываемое на население и военно-политическое руководство страны.

На *втором этапе оценивания СПО* осуществляется аналитическая обработка накопленной и поступающей информации, непосредственно оценивание текущей СПО и прогнозирование ее развития. Как правило, СПО оценивается за конкретный период времени (квартал, месяц и т. д.) в отношении больших территориальных образований – районов, стран, регионов. Конкретными элементами СПО, подвергающимися оценке, являются:

1. Состояние социальных отношений. Оценивание проводится по шкале сотрудничество/конкуренция/враждебность и направлено на выявление и прогнозирование социально-политических противоречий и конфликтов между различными социальными группами и слоями; национальных и конфессиональных конфликтов между различными национальными и религиозными группами.

Наличие противоречий между различными группами выражается в виде националистических, шовинистических идей и теорий, а также различных эмоциональных чувств неприязни, недоверия, презрения и т. д. к представителям других социальных или национально-этнических групп.

2. Морально-психологическое состояние (МПС) отдельных людей (в первую очередь руководителей государства, лидеров различных общественных движений) и групп населения.

Морально-психологическое состояние – это ограниченное по времени состояние сознания людей, характеризующее готовность и способность к решению задач, определенный функциональный настрой психики в конкретных обстоятельствах. Оно зависит от социально-психологических и национально-психологических особенностей и формируется под воздействием текущей информационной, социально-политической, а в случае войны – военной обстановки.

МПС является интегральной характеристикой, в которой переплетаются следующие психологические компоненты:

- преобладающие чувства и эмоции (например, радость/тоска, печаль; воодушевление/апатия; спокойствие/волнение, страх; гнев, возмущение; удовлетворенность/фрустрация);
- волевые состояния (например, вдохновение/прострация; решительность/растерянность, неуверенность; состояние готовности к выполнению возложенных обязанностей, к преодолению трудностей и лишений/лень, беспомощность, в военное время – ослабление воли к вооруженному сопротивлению);
- умонастроения (направленность ума, интересов) – политические, религиозные и др.

Оценка МПС складывается из ряда показателей, в число которых входят:

1) *удовлетворенность жизнью в смысле реализации социальных потребностей* (в жилье и медицинском обеспечении, в карьерном и профессиональном росте, в образовании и развитии детей, в спортивном и культурном досуге, в самореализации, в творческой деятельности и др.);

2) *отношение к политическому строю и его социально-экономическим основам, системе ценностей и образу жизни*. Характеризует степень готовности населения (отдельных групп) поддержать существующий общественно-политический строй;

3) *отношение к правящим партиям, политическому руководству, своему непосредственному начальству*. Характеризует степень лояльности правящему режиму, политической благонадежности граждан в целом;

4) *мировоззренческая ориентация* населения (различных групп), характер, направленность и прочность его политических убеждений. Этот показатель определяет степень идейно-политической и эмоционально-психологической устойчивости;

5) *отношение к текущей политике (социальной, экономической, военной, внешней и др.) своего правительства*. Например, отношение к военной политике включает взгляды и позиции по вопросам войны, мира, защиты своего отечества, укрепления национальной безопасности; оценку природы и источников военной опасности, виновников международной напряженности. При изучении данного аспекта особое внимание следует уделять милитаристским и реваншистским взглядам и устремлениям правящих кругов или отдельных политических сил;

6) *характер отношения к соседним странам, союзникам и потенциальным противникам* (дружественное/враждебное/нейтральное), степень доверия к информации (пропаганде) противника;

7) *состояние отношений внутри группы* (взаимопонимание, доброжелательность/непонимание, неприятие, враждебность; взаимное доверие/подозрительность, недо-

рие друг к другу, страх наказания; взаимная поддержка, сплоченность/высокая напряженность и конфликтность и т. д.).

Измерить значение перечисленных показателей МПС в масштабах страны можно путем анализа состояния массового сознания.

3. Состояние массового сознания. Массовое сознание – это сознание значительной части людей, массы граждан, принадлежащих чаще всего к разным социальным группам, слоям и классам, но на какое-то время сплоченных общими переживаниями. Массовое сознание складывается в конкретный исторический период, отражает условия повседневной жизни людей, их потребности и интересы и включает в себя распространенные в обществе идеи, взгляды, представления, иллюзии, социальные чувства людей. Оно обладает энергией практического действия и очень сильно влияет на общественную жизнь, особенно в критические периоды развития общества, когда недовольство больших масс населения перерастает в бунты и революции.

Состояние массового сознания можно оценить через его основные проявления – общественное мнение, настроения и действия масс.

Общественное мнение представляет собой совокупность мнений, суждений и оценок, разделяемых большинством (значительной частью общества), относительно проблем, событий или фактов социальной действительности, деятельности различных групп и отдельных личностей. Общественное мнение формируется под воздействием политической пропаганды, образования, межличностного общения, а также под влиянием тех или иных событий в стране и мире, а также других факторов. Выразителями общественного мнения выступают социальные группы, общественные организации, отдельные лица (в первую очередь формальные и неформальные лидеры), а также средства массовой информации (СМИ). Общественное мнение изучается с помощью опросов, наблюдения, коллективного обсуждения и личных бесед, анализа документации и материалов СМИ. Однако, анализируя материалы СМИ, следует помнить, что ангажированные СМИ под видом общественного могут выражать мнение своих владельцев и спонсоров, т. е. использоваться ими в качестве инструмента манипулирования массовым сознанием.

При оценке СПО интерес представляет, прежде всего, общественное мнение о лидерах государства, политических партиях и различных социальных группах (иммигрантах, национальных меньшинствах), а также об основных проблемах государственной (внешней, военной, социальной) политики.

Массовые настроения – это доминирующие эмоциональные состояния, охватывающие значительные массы в конкретный период времени, переходящие от переживаний к осознанным мнениям и суждениям. Они обеспечивают социально-психологическую интеграцию, формирование масс и, в конечном итоге, иницируют и регулируют их поведение.

Массовые настроения имеют предметную направленность: политическую, религиозную, эстетическую, экологическую и др.

По идеологической направленности их можно классифицировать как патриотические/антинациональные; проправительственные/антиправительственные (оппозиционные); антивоенные/милитаристские; националистические, шовинистические.

По степени соответствия общечеловеческим интересам – прогрессивные/реакционные (военного аналитика интересуют, прежде всего, политические настроения негативной направленности, в основе которых, как правило, лежит недовольство людей государственной политикой, неудовлетворенность социальной ситуацией и т. д.).

По эмоциональной окрашенности и напряженности различаются следующие общественные настроения: подъем, энтузиазм/апатия, депрессия; народное торжество/гнев; удовлетворенность/неудовлетворенность, недовольство общими социально-политическими условиями жизни и др.

Для своевременного прогнозирования социальной напряженности (конфликта, кризиса) необходимо отслеживать общественные настроения на стадии их зарождения, затем накоп-

ления и усугубления. Максимальный подъем массовых настроений проявляется в конкретных действиях социальных групп, масс.

Массовые действия представляют собой проявление общественного мнения и настроения в физическом пространстве и информационном поле. Так, активным проявлением отношения к военной политике является антивоенное движение, которое очень сильно влияет на моральный дух населения и вооруженных сил.

К наиболее распространенным общественным действиям относятся:

- участие в политической жизни, принадлежность к партиям и общественным движениям, активность на выборах;
- общественная активность граждан и их добровольных объединений: коллективные акции поддержки, различные формы социального протеста (демонстрации, митинги, забастовки, акты гражданского неповиновения и т. д.);
- общественно опасные массовые действия и стихийные действия антигосударственного, антиправительственного характера (массовая истерия, паника, грабежи, убийства, мятежи, шовинистические выступления, в том числе погромы).

Отслеживая действия масс, необходимо уделять внимание возникновению общественных групп и «лидеров мнений», проявляющих какие-либо специфические интересы, а также появлению новых книг и высказываний, которые завоевывают общественное внимание. Все тенденции и события подобного рода могут предвещать назревание социального кризиса.

На *третьем этапе оценивания СПО* готовятся информационно-справочные материалы, содержащие оценку СПО и выводы из оценки. Это могут быть как отдельные документы (доклады о состоянии СПО, донесения об изменении СПО), так и разделы более крупных документов, например тематических справок по странам, информационных сводок и бюллетеней.

Выводы из оценки СПО включают:

1. Общее состояние СПО. Для оценки предлагается использовать пятибалльную шкалу (благополучная, удовлетворительная, напряженная, конфликтная, кризисная), хотя при повышении чувствительности методов исследования шкала может дробиться.
2. Влияние СПО на политическую стабильность и военную безопасность государства.
3. Основные уязвимые стороны СПО.
4. Возможные варианты развития СПО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, знание текущей социально-психологической обстановки необходимо для оценивания и прогнозирования внутривнутриполитической обстановки, а также состояния других сфер жизни иностранных государств.

Оценка СПО основана на анализе:

- характера социально-политических, межнациональных и межконфессиональных отношений;
- морально-психологического состояния военно-политического руководства, отдельных групп населения, вооруженных сил;
- состояния массового сознания населения, господствующих в обществе мнений, настроений.

Качественный учет всех факторов и условий СПО позволяет адекватно и своевременно оценить возможности вероятного противника.

Список используемых источников

1. *Грушин Б.А.* Массовое сознание: опыт определения и проблемы исследования. – М., 1987.
2. *Ольшанский Д.В.* Основы политической психологии: учеб. пособие для вузов. – Екатеринбург: Деловая книга, 2001. – 496 с.
3. *Lippman W.* Public Opinion. – Greenbooks publications, LLC, 2010.
4. *Radoleau J.* L'opinion publique. – Paris: Mouton-EHESS, 1981.

Vecherkin V.B., Anisimov I.I. The approach to estimation of survivability of a control system // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 6–8.

In article the approach to estimation of probability of performance of problems, from the point of view of survivability of a control system is described.

Key words: survivability, control system, markovsky process, model.

Vecherkin V.B., Falleev P.A. Method of formation of multidimensional model of the data in interests of the automated processing and the information analysis // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 9–12.

In article the variant of expansion of ways of aggregation of the data of multidimensional model at the expense of calculation invariants object of the space complexes allowing in a mode of real time to give the attributive information on object, necessary for the intellectual analysis of the data is considered.

Key words: data, process, multidimensional model, space complex.

Kargin V.A., Skorohodov Y.A. Nonlinear dependence estimation at telemetry information processing on given levels crossings statistics// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 13–23.

Provides a method for estimating the telemetered parameters probabilistic structure, based on the registration given levels crossings number of the information process implementation. Expressions of the given level crossings average number changes when there are nonlinear transformation of the first class processes is received. Statistical criterion for rapid classification of the first class information processes is developed.

Keywords: telemetry data, nonhomogeneity, online processing, zero-crossings characteristics.

Minakov E.P., Bugaichenko P.Y. The estimation model of probability of the orbital object's flight through the zone of visibility of a point located on the Earth's surface // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 24–28.

The model determining the probability of the orbital object's flight through the zone of visibility of a point located on the Earth's surface for the allotted time with a random start time of estimation by using the mathematical apparatus of spherical trigonometry is examined.

Key words: orbital object, zone of visibility, probability of flight.

Shmelev V.V. The solution of a problem of optimum planning of a process a dynamic programming method // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 29–37.

In paper the statement of problem of optimum scheduling of difficult organizational-technical installation taking into account regional restrictions is resulted. Reasonableness of application of a method of dynamic programming for a case of regional restrictions with the timbered right end is proved. Criterion function in the form of integrated функционала is formulated by Lagrange.

Key words: difficult installation, planning, technological process.

Shmelev V.V., Tkachenko V.V. Requirements for ordering development of promising hardware-software complex processing of telemetry information rocket space technology // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 38–45.

The main objective of the work is to systematize requirements software complexes processing and analysis (PA) telemetry information (TMI). To solve this problem in the article the system analysis tasks PA TMI launch vehicle (LV), formed by the process graph PA TMI and the basic stages of PA TMI, is a list of guidelines for the treatment of TMI and evaluation of performance (LTH), formulated requirements a special software (SS) PA TMI. Also provides an analysis of the shortcomings of the exploited SS PA TMI, conclusions on the need to develop a unified hardware-software complex PA TMI.

Key words: technological schedule, special software, processing and analysis of telemetry data.

Andreev A.M., Makhrov K.B., Poutchkova I.A. Implementation of turbocodes in space data systems using the international standard CCSDS // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 46–54.

The properties of modern turbocodes are considered as an object of research for the purpose of finding perspective error-correcting codes for the application in space data systems. These turbocodes provide outstanding coding gain and they are actively used both in various communication systems, and in telemetry systems. Stages and features of coding for recommended by standard CCSDS 131.0-B-2 turbocodes are considered.

Key words: Telemetry, Turbo codes, error-correcting codes, the international standard CCSDS, coding gain.

Kravtsov A.N., Mishko V.V., Tkachenko V.V. Elements of the methodology for managing the maintenance status of space assets // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 55–62.

In the article the systematization of elements of the methodology management technical condition (TC) of space assets (DAC), consisting of sub analysis and management. The greatest attention is paid to the development of methodologies such components analysis TC as: monitoring, diagnosis and prediction of forming the initial data for decision-making on the TC DAC. Given concept genesis, including the accumulation of knowledge about the origin and development of emergency and abnormal situations in testing and normal operation of the same type DAC. Using the results of the analysis allows for the choice of controlled parameters that best characterize the vehicle on-board systems (BS) DAC at different stages of operation, in accordance with predetermined criteria of optimality of a decision, to ensure that the analysis of the vehicle and making effective decisions on the use of the CEB and the management of his vehicle. The paper also describes the basic conditions necessary for a decision on the removal of defects and Recovery DAC.

Key words: space assets, management of technical condition, disaster recovery, monitoring, diagnostics.

Ragimov E.A., Andrievskaya V.U., Alekseev A.V. The use of self-contained means of support and correction of data the satellite-navigation systems greenhouse // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 63–67.

This article describes the options for correction of inertial navigation systems and various kinds of algorithms for complex information processing (aggregation). Recommendations on the use of means of support and correction of satellite navigation systems.

Key words: navigation equipment, inertial navigation system, a correction, algorithm.

Fominov I.V., Korolev S.U., Zotkin M.U. Theoretical approaches to the creation of an integrated navigation system with adaptive of complex information processing // Proceedings of the Military

Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 68–76.

We consider the theoretical approach to solving topical problems of software requires emoy-precision determination of the parameters of navigation and orientation maneuvering small spacecraft in a priori undetermined disturbing factors. The object of study is the integrated astro-inertial-satellite systems operating in the conditions of occurrence of various information disorders caused by both external and internal disturbing factors, and there are emergency situations. The proposed solution is based on the use of adaptive complex navigational information processing using a modified Kalman filter. The novelty of the proposed approach is parametric tuning of the structural elements of the Kalman filter, depending on the problem situation due to disturbing factors.

Key words: integrated navigation system, adaptation, Kalman filter, a small spacecraft.

Shirobokov V.V., Shinkarenko A.F. Approach to organizing inter-satellite interaction in the distributed computing structures orbital constellation of microsatellites // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 77–82.

The problem of increasing the autonomy of the orbital groups (OG) microsatellites (MS) and the related need to increase the performance of onboard computing systems spacecraft. An approach to the organization and model inter-satellite interaction in distributed computing structure OG MS. The optical and radio communication channels, as well as data transfer protocols for the organization inter-satellite interaction. The scientific and technical problems to be solved for the implementation of the proposed approach.

Key words: orbital constellation of microsatellites, distributed computing framework, distributed processing, on-board computer system, inter-satellite communication.

Voznyuk V.V., Bogachenkov K.N., Maslakov P.A. Null-balance characteristics in information protection in highway (against data leakage) // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 83–92.

Power-efficient information protection technique for PC. It based on active null-balance interference. There are some methods of null-balance technique and some usefull recommending to improve information protection for PC considered.

Key words: null-balance interference, information protection, data leakage.

Gryzunov V.V. Model of degrading computing system during software and hardware attack // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 93–102.

There offered the model of military distributed computing systems that compact mobile in space elements. There researches an influence of adversary software and hardware attacks on computing systems.

Key words: the model of hierarchical heterogeneous computing system; tasks solution of coputing system degraded during software and hardware adversary attacks; symbolization tasks for degraded computing system.

Kotenok A.A., Terenin A.E., Kutuzov E.L. The approach to calculating the efficiency of the psychological impact of the media on military personnel // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 646. – P. 103–106.

Consider a power calculation information media impact. The presented approach to calculation of efficiency of information-psychological influence of different media on military.

Key words: the power of informational influence, the media, effectiveness impact.

Krasnovsky V.N., Terenin A.E., Kutuzov E.L. The Model of information-psychological influence in the information and telecommunication systems // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 646. – P. 107–111.

Considered a multi-level structure of ransaviya the goals and objectives of information-psychological influence. The presented approach to building models of information-psychological influence in the information and telecommunication systems.

Key words: model, information-psychological influence, information and telecommunication systems, monitoring.

Options ballistic build orbital system control of space objects in the near zone of near-earth space / V.K. Semenikhin, D.V. Kirichenko, A.A. Ryzhikh, I.O. Lutov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 646. – P. 112–116.

This article discusses the principles of orbital spacecraft with onboard optical-electronic means of visible range for solving problems of control of space objects in near-earth space. Provides methodological apparatus of the choice of parameters ballistic system construction and justification of requirements to the characteristics of board opto-electronic equipment.

Key words: board opto-electronic, space objects, the near-earth space, the system control space.

Avsukevich D.A., Sudar Yu.M. Development of optimal structures of ventilation control systems buildings ground complexes based on complexity theory // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 117–123.

The presented approach to the synthesis of ventilation control systems based on complexity theory. Formulated in general view, the task of structural synthesis of control systems, introduced and justified the means set of solutions prototypes and set of specifications as applied to the synthesis of control systems. Also describes the layout and the operating structure of ventilation systems.

Key words: synthesis, complexity theory, control, ventilation systems.

About the possibility of using magnetic nondestructive testing method for evaluating the strength and residual life of metal power structures of the ground space infrastructure / K.V. Alexeev, A.N. Dobrolubov, A.S. Lebedev, D.P. Mokhnatkin // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 124–127.

The article describes the principle of the device of the magnetic nondestructive testing method. Shows the dependence of the coercive force from the mechanical stresses in the samples. The assumption of the possibility of predicting the residual life of metal structures from their magnetic properties.

Key words: magnetic nondestructive testing, strength, residual life, mechanical stress, metal structure, magnetic properties.

Goncharenko V.A. Method of substantiation performance computing real-time systems with uncertainty parameters // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 128–133.

The method is presented to substantiate the performance of computing systems-real-time given the stochastic parameters of the workload. It is shown that the presence of additional uncertainties in the parameters caused by confounders or incomplete knowledge, can significantly affect the estimation of the required performance.

Key words: computing system, the required performance, the uncertainty of the parameters, the legislative service time.

Determine the orientation of the spacecraft measurements backlight test unit solar / V.I. Gorbulin, N.V. Radionov, D.L. Kargu, P.A. Komarov, N.N. Astakhov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P.134–138.

In this paper, the approach to determine the orientation of the spacecraft in intensity illumination microblocks solar panels. Explore ways to use regular solar cells for its angular orientation. Developed a theoretical justification modernization method for the implementation of Security Council member functions orientation sensor, proposed hardware and software implementation of the method.

Key words: solar cell, the orientation of the spacecraft, the complex automation and stabilization, the angular distance, the spacecraft.

Method of processing and analyzing the results of spectral measurements of rotating geostationary satellites / S.V. Logunov, V.O. Korolev, D.V. Frolov, R.A. Gudaev // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P.139–146.

The method of processing the results of spectral measurements of geostationary satellites to determine their structural features based on the analysis charts. Size chart is determined by the values of the spectral characteristics of satellites and materials deposited on it. Identification of surface materials geostationary satellite occurs at a minimum distance algorithm and for stabilized satellites comes nearest neighbor algorithm.

Key words: spectral measurements, geostationary satellite, space object, color indices

Lyashevsky A.V., Vedernikov M.V. CT investigation process ageing solid rocket propellant // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 147–154.

Presents current problem estimation status solid rocket propellant and suitability. Considered ageing solid rocket propellant using CT.

Key words: solid rocket propellant, CT, ageing, forecasting.

Methods of measuring the degree of surface blackness emissivity without a vacuum chamber in a stationary thermal regime / M.M. Penkov, S.I. Hankov, D.A. Mosin, I.A. Urtmintsev, E.V. Lapovok // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 155–158.

Presented a method for measuring the degree of surface blackness emissivity on examples of materials in a stationary thermal regime. Method is used for measurement without using a vacuum chamber.

Key words: radiative properties of the surface emissivity surface, heat transfer, convection, radiation, radiant heat transfer coefficient.

Poletaev A.M., Lazutin R.Y. Analysis of construction principles and modes of operation of space radar surveillance systems // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 159–169.

Presents modern principles of construction and modes of operation of space systems earth surveillance radar with synthetic aperture antenna. Made a brief analysis and prospects of their development, with emphasis on active phased array.

Key words: on-Board antenna complex, active phased arrays, space SAR of operation modes.

Suvorov R.V. Method of the justification of the rational parameters of the electric power supply system of spacecraft, equipped with special onboard complex // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 170–179.

The actuality of justification of the rational parameters of the electric power supply system of spacecraft, equipped with high power consumption laser defense complex is shown. The power supply system simulation aggregate mathematic model is developed. The algorithm of the rational parameters justification is offered.

Key words: spacecraft, power supply system, rational parameters, aggregate model.

Tarasov A G., Samsonov F A., Tsvetkov A Y.. The structure of the automated system preparation and launch of space rocket with the use of robotic tools // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 180–185.

The article discusses the logic-parametric approach to modeling the survivability of automated system preparation and launch of space rocket in terms of the contingency and synthesis of software and hardware control systems and ensure survivability in the automated preparation and launch system. Consider a structure automated preparation and launch system, which introduces an additional level of safety and survivability with the use of robotic tools.

Key words: emergency situation, survivability, automated preparation and launch system, robotic tools.

Repyakh A.N., Hrustova A.N. Independent work in modern educational process: ways and means to activate // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 186–192.

The article is devoted to stepping up independent work as a factor of development and self-organization of students in terms of modern educational paradigm. It focuses on the psychopedagogical and methodological aspects of independent work.

Key words: independent work, «learning to learn», motivation, training materials, problematic nature of independent work, automated training systems, advanced technology training.

Chistyakov S.V., Paukov A.B., Fedorov D.A. Development of training system of academy cadet's divisions commanders // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 646. – P. 193–196.

The system of cadet's military training in academy represents by itself a complex of interconnected and interdependent components. These components create complete and continuous process of the future officer personality formation. High-quality preparation and education of cadets is impossible without highly educated and trained commanders of cadet divisions. In the article there are suggestions for improvement of training system for cadet's division commanders. Also it contains a number of actions for each stage of formation of future officers.

Key words: system, trainingplan, officer, subunit, stagesoftrainin, exercise, selectionofcandidates, requirements.

Paukov A.B., Inyusheva E.A. To the problem of taxonomy of the purposes of combat training classes // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 646. – P. 197–200.

Article opens actual for military forces of Russian Federation, which describes official's training for conducting classes in military training. Quality of conduction classes and efficiency of staff training depend of the leader's ability to prepare for conducting correctly. Methodologically

competent leadership training to employment assumes of stuff studying, level of their training; determination learning objectives, lesson plan; the development of educational documents for employment.

Key words: military training, lessons targets, the type of lessons, the process of military training.

Gorshkov M.A., Okunev S.Y. Some aspects of the development of critical thinking of the cadets of the military academy during the study of military history // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 201–205.

The article shows the role of critical thinking in the learning process, the necessity of its development from the point of view of efficiency of thinking in general, and from the point of view of formation of competence established FSES and qualification requirements. The article considers different approaches to the definition of critical thinking and shows our position in this matter. Critical thinking develops in the educational process and without special effects, spontaneously. The paper identifies possible factors targeted development of critical thinking of students and methodical recommendations on its formation.

Key words: critical thinking, creative thinking, activity approach, military academy, military history.

Dmitrieva I.Yu. The influence of psychological and physiological features of an individual on the success of perception and memorizing of foreign words // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 206–210.

The article describes the main problems the students face with while learning the new foreign words and the causes of these problems. It suggests some mnemonic techniques that can help students master their English vocabulary. Mnemonic techniques are based on the on theoretical conclusions of cognitive psychology, linguistics and physiology.

Key words: lexical skills, perception, memorizing, cognitive types, mnemonic techniques, types of memory, individual features, professional actualization

Poroshina G.V., Koval P.A. Evaluation of the current social and psychological situation // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2015. – Release 646. – P. 211–215.

Presents the way for the evaluation of the current social and psychological situation. Considered main elements of the social and psychological situation, and the phases of its evaluation.

Key words: social and psychological situation, group moral, public opinion, public spirit, mass action.

Авсюкевич Дмитрий Алексеевич, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 259-85-39, e-mail: *avsdim@mail.ru*.

Алексеев Антон Викторович, старший научный сотрудник 16-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. 8 (931) 250-27-02, e-mail: *Alex___.@mail.ru*.

Алексеев Константин Владимирович, заместитель начальника 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 216-66-46, e-mail: *fesco@live.ru*.

Андреев Андрей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник 3 управления ВИ(НИ) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел. 8 (812) 237-10-21, e-mail: *aandreev961@yandex.ru*.

Андриевская Виктория Юрьевна, старший научный сотрудник 16 отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат физико-математических наук; тел. 8 (921) 635-46-61, e-mail: *vika75_07@mail.ru*.

Анисимов Илья Игоревич: адъюнкт 91-й кафедры Военно-космической академии А.Ф.Можайского(197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. 8(981) 847-80-21.

Астахов Николай Николаевич, адъюнкт 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. 8 (911) 102-68-87, e-mail: *666cvbnt@mail.ru*.

Богаченков Кирилл Николаевич, старший инженер 64 кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел. 8 (812) 347-95-35, e-mail: *boga4enkov@bk.ru*.

Бугайченко Павел Юрьевич, адъюнкт 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. 8 (921) 408-40-06, e-mail: *pavel_bugaichenko@rambler.ru*.

Ведерников Михаил Васильевич, доцент 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: *mwedernikow@mail.ru*.

Вечеркин Валерий Борисович: начальник 91-й кафедры Военно-космической академии А.Ф.Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат военных наук, доцент, тел. 8(911) 920-40-02, e-mail: *sonpo123@mail.ru*.

Вознюк Валерий Васильевич, начальник 64-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.

Гончаренко Владимир Анатольевич, профессор 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел. 8(911) 242-01-19, e-mail: vlango@mail.ru.

Горбулин Владимир Иванович, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук; тел. 8 (911) 299-27-76, e-mail: v_gorbulin@mail.ru.

Горшков Михаил Александрович, преподаватель 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат педагогических наук; тел.: 8 (921) 928-53-73, e-mail: gorshmikhail@yandex.ru.

Грызунов Виталий Владимирович, начальник 573-й лаборатории ВИ(НИ) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского – СНС (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 37); кандидат технических наук; тел. 8(921)995-69-33.

Дмитриева Ирина Юрьевна, доцент кафедры иностранных языков Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(812)347 96 09.

Добролюбов Алексей Николаевич, старший преподаватель 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; E-mail: alexdobr-spb@ya.ru; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Зоткин Максим Юрьевич, адъюнкт 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел.: 8 (812) 347-95-21, e-mail: max053@yandex.ru.

Инюшева Елена Александровна, доцент 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-29, e-mail: elal_04@mail.ru.

Каргин Виктор Александрович, доцент кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел. 347-95-65.

Каргу Дмитрий Леонидович, начальник кафедры бортового электрооборудования и энергетических систем летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел. 8 (812) 347-95-22, e-mail: dmitrii_kargu@mail.ru.

Кириченко Дмитрий Валерьевич, начальник 4-го управления военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 347-95-77. e-mail: dvkey@rambler.ru.

Коваль Полина Александровна, доцент 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат психологических наук, тел.: 8-911-09-7777-0.

Комаров Павел Александрович, адъюнкт 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. 8 (911) 255-66-33 e-mail: 89112556633@mail.ru.

Королев Степан Юрьевич, адъюнкт 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел.: 8 (812) 347-95-21, e-mail: st.korolev@list.ru.

Котенок Андрей Анатольевич, преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат военных наук, тел.: 8 (812) 252-47-16.

Кравцов Александр Николаевич, заместитель начальника кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел. 347-95-65.

Красновский Валерий Николаевич, кандидат психологических наук, доцент, доцент 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (812) 347-96-55.

Кутузов Евгений Леонидович, преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (812) 347-96-55. *bullet_el@inbox.ru*.

Кутузов Евгений Леонидович, преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 252-47-16. *bullet_el@inbox.ru*.

Лазутин Роман Юрьевич, адъюнкт 36-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел.: 8 (981) 708-54-24, e-mail: roma.lazutin.90@mail.ru.

Лаповок Евгений Владимирович, научный сотрудник военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук.

Лебедев Алексей Сергеевич, адъюнкт 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 119-17-09, e-mail: alexey2360@mail.ru.

Лутов Игорь Олегович, старший научный сотрудник 411-й лаборатории военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 393-95-72.

Ляшевский Александр Валерьевич, адъюнкт 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), 8 (911) 248-35-18, *e-mail: lyashevskyav@mail.ru*.

Маслаков Павел Андреевич, адъюнкт 64-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел. 8 (812) 347-95-35, *e-mail: maslakov345@yandex.ru*.

Мосин Дмитрий Александрович, начальник 12-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел. 8 (911) 901-62-63.

Мохнаткин Дмитрий Петрович, начальник учебной лаборатории 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 942-09-44, *e-mail: vvorker@rambler.ru*.

Махров Константин Борисович, начальник 37-го отдела ВИ(НИ) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. 8 (812) 237-10-21, *e-mail: aandreev961@yandex.ru*.

Минаков Евгений Петрович, профессор 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук; тел. 8 (911) 734-95-28, *e-mail: ep.minakov12345@mail.ru*.

Мышко Василий Васильевич, доцент кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войска) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел. 347-95-65.

Окунев Сергей Юрьевич, доцент 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат исторических наук, доцент; тел.: 8 (911) 957-34-93, *e-mail: sergokun71@mail.ru*.

Пауков Александр Борисович, начальник 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-29, *e-mail: elal_04@mail.ru*.

Пеньков Максим Михайлович, начальник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел. 8(812) 235-27-18.

Полетаев Александр Михайлович, профессор 36-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел.: 8 (905) 229-79-25, *e-mail: poletam@mail.ru*.

Порошина Галина Васильевна, старший преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, тел.: 8 (812) 347-96-55.

Пучкова Ирина Александровна, научный сотрудник 37-го отдела ВИ(НИ) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел. 8 (812) 237-10-21, *e-mail: poutchova@mail.ru*.

Радионов Николай Васильевич, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор экономических наук; тел. 8 (921) 774-09-16, *e-mail: v_gorbulin@mail.ru*.

Рагимов Эльхан Агабек-оглы, старший научный сотрудник 16-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат физико-математических наук; тел. 8 (921) 920-08-88, *e-mail: elhan_rag@mail.ru*.

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат философских наук доцент; тел.: 8 (911) 990-02-38, *e-mail: utkinodacha@yandex.ru*.

Рыжих Андрей Алексеевич, научный сотрудник 41-го отдела военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел.: 8 (812) 393-95-72, *e-mail: r_a_y07@mail.ru*.

Самсонов Филипп Анатольевич, преподаватель кафедры теории полета и подготовки данных Военной академии РВСН имени Петра Великого (кафедра № 26) (109074, г. Москва, Китайгородский проезд, д. 9), кандидат военных наук, тел.: 8 (916) 478-18-16.

Семенихин Виталий Кузьмич, старший научный сотрудник 412-й лаборатории военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук доцент; тел.: 8 (812) 393-95-72.

Скороходов Ярослав Анатольевич, адъюнкт кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел. 347-95-65, *e-mail: yaroslavskor@gmail.com*.

Сударь Юрий Михайлович, доцент 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел.: 8 (904) 553-33-24, *e-mail: sudar@fromru.com*.

Суворов Роман Витальевич, начальник 121-й лаборатории (научно-исследовательской) – старший научный сотрудник военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197082, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 35, р. т.: +7(812)347-97-19.

Тарасов Анатолий Геннадьевич, докторант кафедры автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (кафедра № 26) (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, тел.: 8 (812) 347-95-26.

Ткаченко Владимир Викторович, преподаватель кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел. 347-95-65, *e-mail*: vik_hohol@mail.ru.

Ткаченко Владимир Викторович, преподаватель кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел. 347-95-65, *e-mail*: vik_hohol@mail.ru.

Теренин Андрей Евгеньевич, преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат психологических наук; тел.: 8 (812) 297-75-95.

Теренин Андрей Евгеньевич, преподаватель 65-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат психологических наук; тел.: (812) 347-96-55.

Уртминцев Игорь Александрович, доцент 12-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел. 8 (911) 701-82-30.

Фаллеев Петр Анатольевич, старший преподаватель кафедры информационно-аналитической работы Военно-космической академии А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат военных наук; тел. 8(911) 920-40-02.

Федоров Денис Алексеевич, заместитель начальника 81-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-29, *e-mail*: elal_04@mail.ru.

Фоминов Иван Вячеславович, докторант 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*: i.v.fominov@gmail.com.

Ханков Сергей Иванович, ведущий научный сотрудник военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, тел. 8 (921) 970-40-45, *e-mail*: leva0007@rambler.ru.

Хрустова Алена Николаевна, старший преподаватель 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (905) 225-88-87, *e-mail*: yugani@rambler.ru.

Цветков Александр Юрьевич, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (кафедра № 26) (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, тел.: 8 (812) 347-95-26.

Чистяков Сергей Владимирович, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 235-55-39, *e-mail*: elal_04@mail.ru.

Шинкаренко Антон Федорович, адъюнкт 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел. 8(981) 859-68-71, *e-mail: tonio87@rambler.ru*.

Широбоков Владислав Владимирович, адъюнкт 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел. 8(981) 761-28-41, *e-mail: vladislavbars@gmail.com*.

Шмелёв Валентин Валерьевич, докторант 93-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел.: +7 (921) 412-60-85, *e-mail: valja1978@yandex.ru*.

Аверкиев Николай Федорович, профессор 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8(812) 347-96-16, *e-mail: averkiev@mail.ru*.

Алешкин Андрей Петрович, профессор 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8(911) 218-49-69.

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 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8(911) 248-57-80, *e-mail: alexanderbas@mail.ru*.

Башкирцев Виктор Павлович, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат педагогических наук, доцент, тел. 8(911) 218-23-57.

Волков Валерий Федорович, профессор 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор военных наук, профессор, тел.: 8(812) 347-95-64.

Горбулин Владимир Иванович, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197082, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел. 8 (911) 299-27-76, *e-mail: v_gorbulin@mail.ru*.

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.

Еремеев Михаил Алексеевич, начальник 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел. 8 (812) 247-99-53.

Карагодин Владимир Викторович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8(812) 347-95-44.

Каргу Дмитрий Леонидович, начальник 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент, тел.: 8(911) 964-08-60, *e-mail: dmitrii_kargu@mail.ru*.

Кежаев Валерий Алексеевич, старший научный сотрудник 47-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, *e-mail: kezhov@rambler.ru*.

Кириченко Дмитрий Валерьевич, начальник 4-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, старший научный сотрудник, тел.: 8(911) 951-97-58, *e-mail: dvkey@rambler.ru*.

Косырев Сергей Викторович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор военных наук, профессор, тел. 8(812) 347-96-93.

Кузьмичев Юрий Алексеевич, доцент 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.

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, доцент, тел.: 8(812) 347-95-11, *e-mail: zlebedev@yandex.ru*.

Мануйлов Юрий Сергеевич, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8(812) 347-95-65, *e-mail: kotmanof@rambler.ru*.

Назаров Андрей Вячеславович, начальник 33-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент, тел.: 8(812) 347-95-33.

Огородников Владимир Петрович, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор философских наук, профессор.

Онуфрей Андрей Юрьевич, ведущий научный сотрудник 5 управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел. 8 (812) 230-28-15.

Павлов Александр Николаевич, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент, тел.: 8(812) 347-95-62.

Пауков Александр Борисович, начальник 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат военных наук, доцент, тел. 8 (812) 347-96-29, *e-mail: elal_04@mail.ru*.

Пятков Вячеслав Викторович, профессор 82-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8(812) 297-11-10, *e-mail: peatkov@niitv.ru*.

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат философских наук, доцент, тел.: 8(911) 990-02-38, *e-mail: utkinodacha@yandex.ru*.

Сахно Игорь Викторович, начальник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8(911) 210-08-82, *e-mail*: *vstrecha10@mail.ru*.

Ткачев Евгений Андреевич, профессор 33-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент, тел.: 8(911) 218-49-69.