

**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 642**  
**Март**

*Издается с 1942 года*



Санкт-Петербург  
2014

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, доцент;  
**Г.Д. Петров**, доктор техн. наук, проф.; **В.Н. Кузьмин**, доктор воен. наук, проф.;  
**В.Н. Калинин**, доктор техн. наук, проф.; **А.П. Алешкин**, 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, доцент;  
**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, доцент;  
**Н.С. Кужекин**, кандидат фил. наук, проф.; **Н.Б. Кунтурова**, доктор пед. наук, проф.;  
**Н.А. Репях**, кандидат фил. наук, доцент; **Т.В. Алексеев**, доктор истор. наук, доцент

**Ответственные за выпуск:**

начальник РИО **С.В. Чернышёв**,  
начальник ОБТИ **А.А. Диголь**

**Техническая поддержка:**

**Н.А. Станкевич**

**В 634 Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.**  
Выпуск 642 / под ред. Ю.В. Кулешова; ответственные за вып.:  
С.В. Чернышёв, А.А. Диголь; техническая поддержка: Н.А. Станкевич. –  
СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 263 с.

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

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

УДК 355.232.6:629.78  
ББК 68.55

© ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014

Подписано к печ. 17.06.2014  
Гарнитура Times New Roman  
Авт. л. 32,75

Формат печатного листа 445×300/4  
Усл. печ. л. 66,00  
Заказ 2816 Бесплатно

**Типография ВКА имени А.Ф. Можайского**

«Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского» зарегистрированы Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзором)  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-45867 от 20 июля 2011 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Алешин Е.Н., Павлов Д.А.</i> Модель планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами автоматизированных систем управления космических систем с уточненными временными ограничениями.....	7
<i>Белицкий В.И., Соколов С.М., Шерстюк А.В.</i> Методика снижения объема выборки измерений функции детерминированных аргументов при ее полиномиальной аппроксимации .....	10
<i>Кежаев В.А.</i> Теоретико-прикладные аспекты адаптации метода динамики средних к задачам моделирования стрельбы в условиях перспективных боевых действий.....	18
<i>Кочанов И.А., Кубуша А.В., Кириллов И.Г.</i> Проблемы синтеза систем управления, работающих в условиях реального времени для организационно-технических систем космического назначения .....	23
<i>Лучко С.В., Петухов А.Б., Ядренкин А.А.</i> Помехоустойчивость автоматических систем .....	27
<i>Мануйлов Ю.С., Москвин Б.В., Павлов Д.А.</i> Модель планирования распределенной обработки информации в различных звеньяхавтоматизированных систем управления космическими аппаратами.....	32

### СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ

<i>Алтухов А.И., Горбулин В.И., Рымкевич П.П., Каргу Д.Л., Радионов Н.В.</i> Математические модели учета малых сил электромагнитной природы в задаче повышения точности прогноза движения центра масс навигационного космического аппарата.....	36
<i>Цветков К.Ю., Акмолдов А.Ф., Ефимов С.Н., Викторов Е.А., Веремчук А.С.</i> Концепция построения разнорысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами: алгоритм расширяющегося поиска мобильных абонентов.....	41

### СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Катицын С.Ю., Крамар М.А., Луковкин А.В., Шестирублева Н.В.</i> Методика оперативного составления первичного психологического портрета .....	49
---	----

<i>Карин С.А., Лобовко В.В.</i> Построение потокового стегодетектора для выявления скрытой информации в файлах с данными дистанционного зондирования Земли .....	53
<i>Кузнецов А.Б., Шавин А.С.</i> Методика выбора помехоустойчивого кода для передачи информации в автоматизированных системах подготовки и пуска.....	58

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Басыров А.Г., Шинкаренко А.Ф., Ситало Е.А.</i> Подход к оцениванию важности информационно-технических объектов .....	64
<i>Паришуткин А.В., Сиротин И.Н., Коновалов А.В.</i> Методика оценки воздействия непреднамеренных помех на радиолокаторы дистанционного зондирования Земли космического базирования .....	71

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

<i>Калгин А.В., Шевчук А.М.</i> Методы выбора средств поражения объектов и средств активного противодействия воздействию противника на основе математической теории игр.....	83
<i>Кежаев В.А., Гончаров Е.А.</i> Оценивание эффективности информационного обеспечения высокоточного оружия с использованием энтропийного подхода.....	90
<i>Кежаев В.А., Медведский С.Н.</i> Перспективные направления внедрения технологии поддержки принятия решений в аппаратно-программные комплексы автоматизированного управления.....	93
<i>Лепешкин С.А., Скирда В.С., Хайдаров Р.Р., Умаров А.Б.</i> Оптимальное восстановление изображений в системах радиовидения воздушно-космического базирования в телескопическом режиме.....	97
<i>Осипов А.Г., Ефимов А.Н.</i> Методика комплексной оценки оперативно-тактических свойств местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий.....	102
<i>Хрущ Р.М., Соловьев А.В.</i> О некоторых особенностях геоинформационного обеспечения современных боевых действий .....	110

## РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

<i>Дзгоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.</i> Методы аналитического моделирования тепловых режимов космических объектов в околоземном космическом пространстве.....	115
---	-----

<i>Бескостый Д.Ф.</i> Реализация устройств обработки сигналов в разнесенных радиолокационных комплексах .....	125
<i>Катюха Р.В., Логунов С.В., Рогов Д.А.</i> Методика многопараметрической идентификации состояния элементов космических аппаратов, реализуемая на основе применения аппарата нечеткой логики.....	132
<i>Катюха Р.В., Смирнов Г.Е., Багрецов С.А.</i> Методика комплексной оценки технического состояния космических аппаратов, реализуемая на основе теории линейных преобразований и матриц.....	136
<i>Мануйлов Ю.С., Алешин Е.Н.</i> Формирование облика космической солнечной энергоустановки с учетом особенностей углового движения объекта.....	140
<i>Павлов Д.А.</i> Модель планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами автоматизированной системы управления космическими аппаратами.....	149
<i>Скороходов Я.А., Каргин В.А., Деев В.В.</i> Использование технологии CUDA при проектировании аппаратно-программных средств оперативной обработки телеметрической информации ракет-носителей.....	153
<i>Старчуков Д.С., Козин П.А., Смирнов А.А.</i> Количественный анализ пористости высокопрочных бетонов с зольсодержащими добавками.....	165
<b>ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ</b>	
<i>Исак В.Ю.</i> Компетентностный подход в современном образовании.....	173
<i>Морозов А.В.</i> Качественная теория дифференциальных уравнений – основная составляющая теории динамических систем.....	177
<i>Осинов Г.К., Воронков И.Ю., Хиленко В.В., Голубев М.А.</i> Системное проектирование профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений на основе компетентностного подхода как условие повышения качества подготовки военных кадров.....	185
<i>Репях Н.А., Хрустова А.Н.</i> Современные образовательные технологии при реализации компетентностного подхода в системе подготовки и повышения квалификации педагогических работников.....	192
<i>Чепагин В.Н.</i> Минимизация непроизводительных затрат учебного времени в рамках инверсной технологии обучения.....	202
<b>ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК</b>	
<i>Алтухов А.И., Головина В.В., Калинин В.Н.</i> Формирование и критерии оценивания компетенций в цикле математических и естественнонаучных дисциплин.....	210

<i>Попов А.В., Шукишин И.В., Стафеев А.В.</i> Сыгранность игроков мини-футбольных команд вузов Министерства обороны Российской Федерации посредством совместимости и игровых взаимодействий.....	216
<i>Просенков Б.И.</i> Пути совершенствования геометро-графической подготовки курсантов в ходе модернизации Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.....	221
<i>Просенков Б.И., Васкевич Н.В., Плакс И.В.</i> Пути повышения эффективности изучения дисциплин геометро-графической подготовки курсантов на основе применения новейших компьютерных технологий.....	225
<i>Станиславичюс Р.-Б.Б., Сазонов П.А.</i> Обеспечение русской армии оптическими приборами в Первой мировой войне.....	232

## ДИСКУССИИ И СОБЫТИЯ

<i>Ардашов А.А., Арсеньев В.Н., Горичев Ю.В., Силантьев С.Б.</i> К 100-летию Евгения Павловича Попова – основателя и первого начальника кафедры автономных систем управления Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.....	236
Рефераты статей.....	244
Сведения об авторах.....	252
Сведения о рецензентах.....	260

Е.Н. Алешин,  
кандидат техн. наук;  
Д.А. Павлов

## **МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ГИБКОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ И ПОДСИСТЕМАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УТОЧНЕННЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ**

Предложена модель планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами автоматизированных систем управления космическими системами (АСУ КС) с уточненными временными ограничениями, позволяющая распределять время выполнения операций в соответствии с этапами прохождения информационных потоков.

Ключевые слова: оптимизация, планирование, распределенная обработка, автоматизированные системы управления.

### **ВВЕДЕНИЕ**

На современном этапе развития информационных технологий в различных областях деятельности человека продолжают процессы, связанные со значительным ростом производительности вычислительных средств, интенсивности передачи информационных потоков, а также объемов запоминающих устройств. В то же время такая тенденция ведет и к возрастанию потребностей в более качественном информационном обеспечении, растут требования потребителей информации по оперативности ее доставки, по ее полноте, ставятся новые более информационно-емкие задачи. Особенно остро эта проблема затрагивает стремительно развивающийся космический сектор информационного обеспечения гражданских, а также военных потребителей, так как помимо обычных причин, влияющих на работу любой информационно-вычислительной системы, на качество функционирования космических систем (КС) влияет и ряд ограничений: динамическое изменение структуры информационного взаимодействия КС, обусловленное преимущественно баллистикой движения космических аппаратов (КА); особенности целевого функционирования КС; слабая пропускная способность каналов космической связи; функционирование КС в рамках жестких временных и иных ограничений [2].

Следует отметить, что в данных условиях не теряют актуальности проблемы управления КС, направленного на повышение эффективности их функционирования. Современные подходы к управлению информационными КС (ИКС) зачастую апеллируют к так называемым «слепым» методам реконфигурации, как правило, сводящимся к имитационному моделированию разрабатываемых и существующих систем, к рассмотрению частных сторон их функционирования и выявлению лишь отдельных общих характеристик в целом. В условиях нынешних реалий такой подход не является перспективным в вопросах эффективного управления сложными ИКС, так как в основном не отвечает на вопросы – как рационально распределять информационные потоки, где, когда и сколько информации получать, хранить, обрабатывать и отправлять потребителю в условиях динамически меняющейся обстановки и жестких ограничений [3].

В работе [1] рассмотрена модель планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами автоматизированных систем управления (АСУ) КС:

$$\alpha_3 \alpha_2 \sum_{\rho=1}^p \lambda_{\rho} \sum_{i=1}^{n_{\chi}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} g_{\chi i \rho k} - \alpha_3 \alpha_1 \sum_{\rho=1}^p \gamma_{\rho} \sum_{i=1}^{n_{\chi}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} z_{\chi i \rho k} - \alpha_4 v_{\chi} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\left( \sum_{j \in N_{\chi}^+} x_{\chi j \rho k} - \sum_{j \in N_{\chi}^-} x_{\chi j \rho k} \right) + (y_{\chi i \rho k} - y_{\chi i \rho (k-1)}) + g_{\chi i \rho k} + z_{\chi i \rho k} = I_{\chi i \rho k}, i \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}, \quad (2)$$

$$v_{\chi} - \sum_{\rho=1}^p \sum_{j=1}^{n_{\chi}} r_{ij \rho} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} x_{\chi j \rho k} - \sum_{\rho=1}^p \pi_{i \rho} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} g_{\chi i \rho k} - v_{\chi} = R_{\chi 0 i}, i \in N_{\chi}, \quad (3)$$

$$y_{\chi i \rho k} + \eta_{\chi i k} = V_{\chi i}, i \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}, \quad (4)$$

$$0 \leq x_{\chi j \rho k} \leq \omega_{\chi j \rho k} \cdot (t_k - t_{k-1}), 0 \leq g_{\chi i \rho k} \leq \phi_{\chi i \rho k} \cdot (t_k - t_{k-1}), i \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}, \quad (5)$$

$$y_{\chi i \rho k} \geq 0, z_{\chi i \rho k} \geq 0, v_{\chi} \geq 0, \eta_{\chi i k} \geq 0, v_{\chi} \geq 0, i \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}. \quad (6)$$

В выражении (1)  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  – коэффициенты важности показателей  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$ , устанавливаемые лицом, принимающим решение, в конкретной обстановке функционирования, а переменные  $x_{\chi j i \rho k}$ ,  $y_{\chi i \rho k}$ ,  $y_{\chi i \rho (k-1)}$ ,  $g_{\chi i \rho k}$ ,  $z_{\chi i \rho k}$  являются неизвестными и характеризуют количество переданного потока  $\rho$  типа из  $i$ -го узла в  $j$ -й узел на интервале  $T_k$ , сохраненного потока  $\rho$  типа в  $i$ -м узле на интервале  $T_k$ , сохраненного потока  $\rho$  типа в  $i$ -м узле на интервале  $T_{k-1}$ , обработанного потока  $\rho$  типа в  $i$ -м узле на интервале  $T_k$  и потерянного потока  $\rho$  типа в  $i$ -м узле на интервале  $T_k$  соответственно.

Выражение (5) ограничивает время, отведенное на выполнение соответствующих операций в рамках текущего интервала постоянства структуры  $T_k$ , где значение величины  $\omega_{\chi j \rho k}$  характеризует интенсивность передачи потока  $\rho$  типа из  $i$ -го узла в  $j$ -й узел, а значение величины  $\phi_{\chi i \rho k}$  – интенсивность обработки потока  $\rho$  типа в  $i$ -м узле.

Характерной особенностью рассматриваемой модели является то, что временные ограничения на обработку и передачу информационных потоков в каждом узле являются заданными не зависимо друг от друга. Иными словами, данная модель не учитывает причинно-следственных связей между этапами передачи/обработки информации на каждом интервале  $T_k$  и требует введения новых ограничений.

Для случая с одним вычислителем на борту КА (способным одновременно обрабатывать только один информационный поток) и одноканальной информационной связью между КА, введем новые переменные, отражающие длительность выполнения операций передачи и обработки информации:

$$x_{\chi j i \rho k} = \omega_{\chi j \rho k} \cdot t_{ij \rho k}^x, g_{\chi i \rho k} = \phi_{\chi i \rho k} \cdot t_{i \rho k}^g, i, j \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}, \quad (7)$$

где  $t_{ij \rho k}^x$  является искомым временем, требуемым на передачу потока  $\rho$  типа объемом  $x_{\chi j i \rho k}$  от  $i$ -го узла к  $j$ -му на интервале  $T_k$ , а  $t_{i \rho k}^g$  – требуемым на обработку потока  $\rho$  типа в  $i$ -м узле на том же интервале.

Тогда для рассматриваемого случая (один вычислитель на борту КА и одноканальная связь) временные ограничения на обработку на  $i$ -м узле и передачу от  $i$ -го узла к  $j$ -му всех информационных потоков будут выглядеть следующим образом:

$$0 \leq \sum_{\rho=1}^p t_{i \rho k}^g \leq t_k - t_{k-1} = T_k, 0 \leq \sum_{\rho=1}^p t_{ij \rho k}^x \leq t_k - t_{k-1} = T_k, i \in N_{\chi}, \rho \in P, k = 1, \dots, L_{\chi}, \quad (8)$$

так как общее время производимой обработки информации всех типов и время занятости канала между  $i$ -м и  $j$ -м узлами не могут превышать значения  $T_k$  для данного интервала.

В то же время необходимо вводить ограничения на  $k$ -м интервале постоянства структуры на суммарное время обработки и передачи информационного потока  $\rho$  типа от источников до потребителей. В рассматриваемом случае имеет смысл осуществлять поиск всех путей прохождения информационного потока  $\rho$  типа от каждого его источника до каждого его конечного получателя. В общем виде временные ограничения на возможные пути прохождения потока  $\rho$  типа можно записать в следующем виде:

$$0 \leq \sum_{l=1}^{N_w} t_{i_l \rho k}^g + \sum_{l=2}^{N_w} t_{i_{(l-1)} i_l \rho k}^x \leq t_k - t_{k-1} = T_k, \quad w \in W, \rho \in P, k = 1, \dots, L_\chi, \quad (9)$$

где  $w \in W$  – конкретный путь  $w = \langle (i_1, i_2), (i_2, i_3), \dots, (i_{N_w-1}, i_{N_w}) \rangle$  из множества всех рассматриваемых путей прохождения информационного потока  $\rho$  типа на  $k$ -м интервале времени.

Таким образом, модель планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами АСУ КС с уточненными временными ограничениями будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} & \alpha_3 \alpha_2 \sum_{\rho=1}^p \lambda_\rho \sum_{i=1}^{n_\chi} \sum_{k=1}^{L_\chi} g_{\chi i \rho k} - \alpha_3 \alpha_1 \sum_{\rho=1}^p \gamma_\rho \sum_{i=1}^{n_\chi} \sum_{k=1}^{L_\chi} z_{\chi i \rho k} - \alpha_4 v_\chi \rightarrow \max, \\ & \left( \sum_{j \in N_{\chi i}^+} x_{\chi i j \rho k} - \sum_{j \in N_{\chi i}^-} x_{\chi j i \rho k} \right) + (y_{\chi i \rho k} - y_{\chi i \rho (k-1)}) + g_{\chi i \rho k} + z_{\chi i \rho k} = I_{\chi i \rho k}, \quad i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1, \dots, L_\chi, \\ & v_\chi - \sum_{\rho=1}^p \sum_{j=1}^{n_\chi} r_{ij \rho} \sum_{k=1}^{L_\chi} x_{\chi i j \rho k} - \sum_{\rho=1}^p \pi_{i \rho} \sum_{k=1}^{L_\chi} g_{\chi i \rho k} - v_{\chi i} = R_{\chi 0 i}, \quad i \in N_\chi, \\ & y_{\chi i \rho k} + \eta_{\chi i k} = V_{\chi i}, \quad i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1, \dots, L_\chi, \\ & 0 \leq \sum_{\rho=1}^p t_{i \rho k}^g \leq t_k - t_{k-1}, \quad 0 \leq \sum_{\rho=1}^p t_{ij \rho k}^x \leq t_k - t_{k-1}, \quad i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1, \dots, L_\chi, \\ & 0 \leq \sum_{l=1}^{N_w} t_{i_l \rho k}^g + \sum_{l=2}^{N_w} t_{i_{(l-1)} i_l \rho k}^x \leq t_k - t_{k-1}, \quad w \in W, \rho \in P, k = 1, \dots, L_\chi, \\ & y_{\chi i \rho k} \geq 0, \quad z_{\chi i \rho k} \geq 0, \quad v_{\chi i} \geq 0, \quad \eta_{\chi i k} \geq 0, \quad v_\chi \geq 0, \quad i \in N_\chi, \rho \in P, k = 1, \dots, L_\chi. \end{aligned}$$

Применение данной модели при планировании комплекса операций КС в условиях изменяющейся структуры КС, функционирования в рамках жестких временных и иных ограничений позволяет построить рациональный план задействования элементов и подсистем КС с учетом различных технических характеристик средств и каналов связи, а также в соответствии с этапами прохождения информационных потоков между узлами КС.

### Список используемых источников

1. Павлов Д.А. Модель планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами АСУ КА // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2014. – Вып. 641. – С. 167–171.
2. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник / Ю.С. Мануйлов, В.Н. Калинин, В.С. Гончаревский, И.И. Делий, Е.А. Новиков; под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2010. – 609 с.
3. Москвин Б.В. Теория принятия решений: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2004. – 383 с.

В.И. Белицкий,  
*доктор технических наук, профессор;*  
С.М. Соколов;  
А.В. Шерстюк,  
*кандидат технических наук*

## **МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА ВЫБОРКИ ИЗМЕРЕНИЙ ФУНКЦИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ АРГУМЕНТОВ ПРИ ЕЕ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ**

В предлагаемой методике на ее теоретическом этапе еще до проведения измерений используются резервы минимизации выборок случайных измерений, имеющиеся в методах статистического планирования эксперимента. Для этого проводятся табуляция отношения еще неизвестных дисперсий опыта и аппроксимации и его включение в исходные данные этапа обработки результатов эксперимента.

Ключевые слова: планирование эксперимента, методика, дисперсии опыта и аппроксимации, минимизация выборки.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сокращение количества опытов было одной из основных задач теории планирования эксперимента, предназначенного для полиномиального описания случайных функций  $x(P_{<m>})$  детерминированных аргументов (факторов)  $p_j$ , число которых  $m$  равно двум и более.

Концепция случайности здесь объясняется неучетом других факторов, а результатом ее применения является ошибка аппроксимации полиномом предполагаемой степени реальной неизвестной зависимости, точками которой считаются полученные экспериментально случайные значения функции.

В теории статистического планирования эксперимента разработаны методы верификации выдвинутой гипотезы о степени полинома, основанные на сопоставлении полученных экспериментально дисперсий ошибок аппроксимации  $S_{\text{ап}}^2$  и опыта  $S_x^2$ . Отношение этих дисперсий на этапе обработки экспериментальных данных сравнивается с его табулированным по Фишеру отношением, после чего принимается решение об адекватности полученного полинома данным эксперимента.

Тенденция повышения ресурсоемкости испытаний образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) делает актуальной разработку методов и методик решения задач, обратных прямым задачам статистического планирования эксперимента, т.е. минимизации объемов выборок до проведения эксперимента. Описанию такой методики посвящена настоящая статья.

### **МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ**

Решение обратной задачи может быть получено следующим образом.

1. Если в методике решения прямой задачи теоретический этап следует за экспериментальным и расчетное значение отношения дисперсий проверяется табулированием, то в методике решения обратной задачи эти этапы меняются местами. При этом теоретический этап получает дальнейшее развитие для использования резервов, заложенных в статистическое планирование эксперимента.

2. В теории планирования эксперимента полином одной и той же степени может быть получен разными способами построения планов, обуславливающими различия в количествах

экспериментальных точек, т.е. в объемах выборок случайных величин. Поиском планов, наиболее адекватных обратной задаче, можно добиться наибольшего снижения объема выборки.

3. Не зная дисперсий опыта и аппроксимации, нельзя теоретический этап методики осуществлять по традиционной схеме, как это делается при решении прямой задачи. Преодолеть этот недостаток можно, закладывая в расчеты не абсолютные значения вышеназванных дисперсий, а их отношение, т.е. нормируя одну дисперсию другой.

Поскольку такое отношение подчиняется распределению Фишера и зависит только от уровня значимости и степеней свободы дисперсий, его как функцию параметров плана можно исследовать автономно еще до проведения эксперимента. Результатом исследования является установление связи табулированного таким способом отношения дисперсий  $F_{\text{таб}}$  с количеством точек плана, т.е. с объемом выборки.

4. Экспериментальный и расчетный этапы методики предназначены для проверки выполнения критерия Фишера  $F_{\text{таб}} < F_{\text{рас}}$ . Соответствующие этому критерию планы в дальнейшем исследуются по другим признакам.

Покажем предложенный способ на примере ортогонального планирования второго порядка. При этом, поскольку экспериментальный и расчетный этапы методики выполняются традиционными методами, основное внимание уделим теоретическому этапу.

Пусть выдвинута гипотеза о том, что истинная, но неизвестная целевая функция  $x(P_{<m>})$  описывается полиномом II степени, который для нормированных факторов имеет вид

$$x(P_{<m>}) = b_0 + \sum_{j=1}^m b_{1j}p_j + \sum_{j=1}^m b_{2j}p_j^2 + \sum_{j=1, k=2, k \neq j}^m b_{3jk}p_jp_k. \quad (1)$$

При решении прямой задачи по результатам эксперимента согласно теории выбранного метода рассчитываются коэффициенты аппроксимирующего полинома для нормированных факторов:

$$\hat{x}(P_{<m>}) = B_0 + \sum_{j=1}^m B_{1j}p_j + \sum_{j=1}^m B_{2j}p_j^2 + \sum_{j=1, k=2, k \neq j}^m B_{3jk}p_jp_k. \quad (2)$$

Рассчитанные значения  $\hat{x}_i$  сравниваются с экспериментальными  $x_i$ , и по соотношению дисперсий аппроксимации  $S_{\text{ап}}^2$  и эксперимента  $S_x^2$  принимается решение о справедливости выдвинутой гипотезы с заданной доверительной вероятностью  $\gamma$  (или с заданным уровнем значимости альтернативной гипотезы  $\alpha=1-\gamma$ ), т.е. об адекватности модели (2) истинной функции (1).

В заключение обычно оценивается статистическая значимость коэффициентов полинома. Если коэффициент незначим, его можно приравнять нулю, что упростит модель (2).

В предлагаемой методике вначале также выдвигается гипотеза о степени полинома. Дальнейшие шаги теоретического этапа диктуются необходимостью предъявить требование к отношению дисперсий  $\frac{S_{\text{ап}}^2}{S_x^2}$ , чтобы после выполнения эксперимента и обработки его результатов проверить адекватность модели.

Для теоретического определения отношения  $\frac{S_{\text{ап}}^2}{S_x^2}$  предложим следующую последовательность операций.

1. Обоснование способа определения отношения  $\frac{S_{\text{ап}}^2}{S_x^2}$  как функции параметров планов эксперимента.

2. Выбор плана второго порядка или нескольких планов такого типа.

3. Расчет параметров планов как функций числа факторов и типа плана. К интересующим нас параметрам относятся числа опытов и коэффициентов полинома, а также числа свободы  $\nu_{\text{ап}}$  и  $\nu_x$  для теоретического определения зависимостей  $\frac{S_{\text{ап}}^2}{S_x^2}$  от результатов проведенных на этапе исследований при заданном уровне значимости.

4. Выбор и анализ табулированных значений  $F_{\text{таб}} = \frac{S_{\text{ап}}^2}{S_x^2}$  для различных вариантов планов эксперимента.

Рассмотрим эти операции.

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ ДИСПЕРСИЙ

Отношение дисперсий  $\frac{S_{\text{ап}}^2}{S_x^2}$  является случайной величиной. Закон распределения такого отношения дисперсий двух выборок случайных величин рассчитывается по одной выборке, поэтому отношение Фишера имеет вид

$$F(\nu_1, \nu_2) = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (3)$$

где  $S_1^2$  и  $S_2^2$  – выборочные дисперсии, причем  $S_1^2 > S_2^2$ ;

$\nu_1$  и  $\nu_2$  – степени свободы числителя и знаменателя.

Вопросы формирования выборок, выбора дисперсий  $S_1^2$  и  $S_2^2$  и проверяемых гипотез в каждой конкретной задаче рассматриваются в индивидуальном порядке на основе физических соображений.

В нашем случае выборочные дисперсии  $S_1^2$  и  $S_2^2$  должны характеризовать точности сравниваемых способов предсказания значения  $x$ , а отношение этих дисперсий – определять расчетное значение  $F_{\text{рас}}$ .

Пусть первый такой способ предсказывает значение  $x$  по среднему по выборке  $\bar{x}$  и характеризуется выборочной дисперсией  $S_x^2$ , а вторым способом являются аппроксимация выборки полиномом и предсказание значения  $x$  по уравнению регрессии (2), имеющему дисперсию  $S_{\text{ап}}^2$ .

При допущении, что дисперсии ошибок определения всех величин  $x_i$  одинаковы,

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (4)$$

$$S_{\text{ап}}^2 = \frac{1}{n - N_{\text{к.п}}} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2. \quad (5)$$

Здесь  $N_{\text{к.п}}$  – число коэффициентов полинома.

Интуитивно можно предположить, что при удачно выбранной степени полинома точность второго способа, оперирующего с уравнением регрессии (2), выше точности первого способа, опирающегося на уровень среднего значения  $x$ .

Чтобы проверить это предположение по критерию Фишера, надо выдвинуть и проверить нулевую гипотезу о точностях способов. Нулевая гипотеза об адекватности полинома (2) выборке  $x_i$  равносильна гипотезе о правильном выборе степени полинома и предполагает, что  $S_{\text{ап}}^2 < S_x^2$  и, следовательно,  $S_1^2 = S_x^2$ ,  $S_2^2 = S_{\text{ап}}^2$ .

$$F = \frac{S_x^2}{S_{\text{ап}}^2} > 1. \quad (6)$$

Число  $F$  в данном случае характеризует, во сколько раз полином (2) предсказывает результаты опыта  $\hat{x}_i$  лучше, чем среднее значение  $\bar{x}$ . Чем больше  $F$ , тем выше доверительная вероятность и меньше уровень значимости, т.е. вероятность неадекватности модели.

Критерий Фишера для заданного  $\alpha$  имеет вид

$$F_{\text{таб}} < F_{\text{рас}}. \quad (7)$$

Во многих работах проверяется гипотеза о том, что полученная модель неадекватна истинной зависимости  $x(P_{<m>})$ . В этом случае  $S_1^2 = S_{\text{ап}}^2$ ,  $S_2^2 = S_x^2$ . Поэтому

$$F = \frac{S_{\text{ап}}^2}{S_x^2} > 1, \quad (8)$$

а критерий Фишера остается прежним.

**Примечание.** Смена индексов числителя и знаменателя означает адекватную смену индексов степеней свободы  $v_1$  и  $v_2$ : в формуле (6)  $v_1 = v_x$ ,  $v_2 = v_{\text{ап}}$ , а в формуле (8)  $v_1 = v_{\text{ап}}$ ,  $v_2 = v_x$ .

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве примера выберем ортогональные планы второго порядка с ядром плана в виде полного факторного эксперимента, полуреплики и четвертьреплики. В этом случае число коэффициентов полинома

$$N_{\text{к.п}} = \frac{(m+1)(m+2)}{2}, \quad (9)$$

а число строк плана

$$n = 2^{m-d_r} + 2m + 1, \quad (10)$$

где  $m$  – число факторов;

$d_r$  – дробность реплики, при этом  $d_r = 0, 1, 2$ .

## ПАРАМЕТРЫ ПЛАНА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для определенности рассуждений выберем вариант  $S_1^2 = S_{\text{ап}}^2$ ,  $S_2^2 = S_x^2$ . Тогда  $v_1 = v_{\text{ап}}$ ,  $v_2 = v_x$  и для проверки адекватности используются формулы (7) и (8).

Число степеней свободы  $v_{\text{ап}}$  дисперсии аппроксимации  $S_{\text{ап}}^2$ , необходимое для проверки адекватности модели, меньше числа измерений  $n$  на число коэффициентов  $N_{\text{к.п}}$ . Для планирования второго порядка

$$v_{\text{ап}} = n - N_{\text{к.п}} = n - 0,5(m+1)(m+2). \quad (11)$$

Число степеней свободы  $v_x$  остаточной дисперсии  $S_x^2$  на единицу меньше числа измерений, т.е.

$$v_x = n - 1. \quad (12)$$

Результаты проделанных расчетов зависимостей  $N_{\text{к.п}}$ ,  $n$ ,  $v_{\text{ап}}$  и  $v_x$  от  $m$  и  $d_r$  для ортогонального планирования второго порядка сведены в табл. 1.

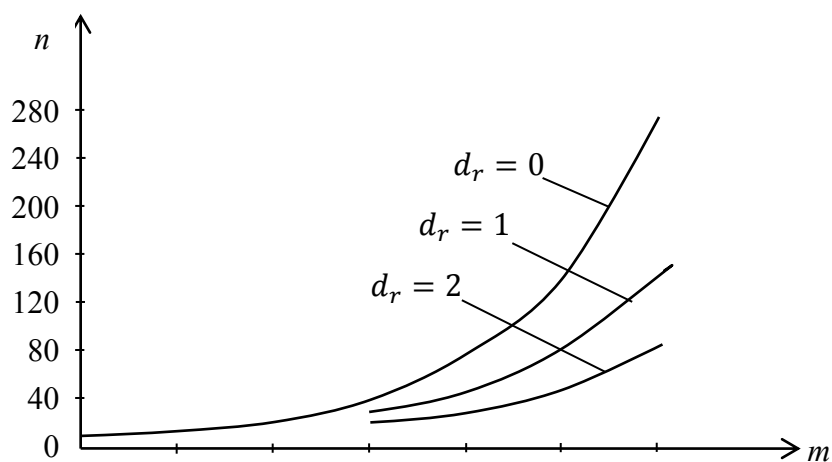
Таблица 1

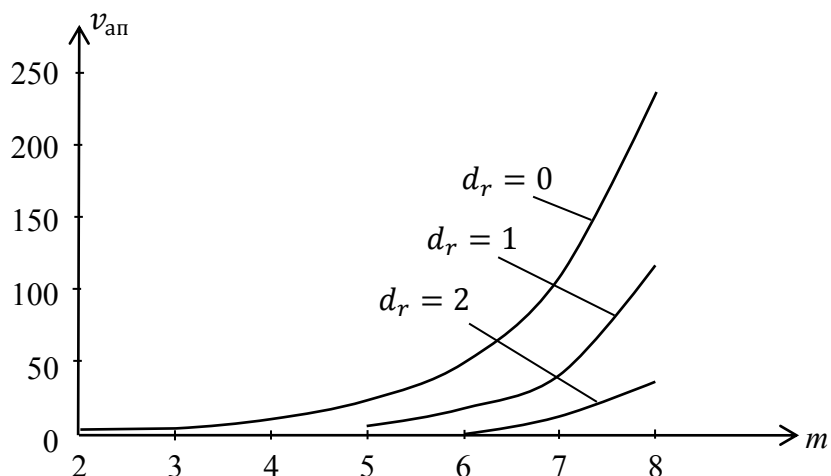
**Зависимости показателей плана от  $m$  и  $d_r$  для ортогонального планирования второго порядка**

$m$	$N_{\text{к.п}}$	$d_r = 0$			$d_r = 1$			$d_r = 2$		
		$n$	$v_{\text{ап}}$	$v_x$	$n$	$v_{\text{ап}}$	$v_x$	$n$	$v_{\text{ап}}$	$v_x$
2	6	9	3	8	-	-	-	-	-	-
3	10	15	5	14	-	-	-	-	-	-
4	15	25	10	24	-	-	-	-	-	-
5	21	43	23	42	27	6	26	19	-2	18
6	28	77	49	78	45	17	44	29	1	28
7	36	143	107	142	79	43	78	47	11	46
8	45	273	238	272	145	100	144	83	38	82

Поскольку дробные реплики применяются лишь при  $m > 5$ , в таблице для  $d_r = 1, 2$  первые четыре строки отсутствуют. Отрицательный знак у  $v_{\text{ап}}$  при  $m = 5$  означает, что четвертьреплика в данном случае применяться не должна, поскольку число уравнений меньше числа коэффициентов модели.

Построенные по данным табл. 1 графики зависимостей  $n(m, d_r)$  и  $v_{\text{ап}}(m, d_r)$  представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Рис. 1. Графики зависимости  $n$  от  $m$  и  $d_r$

Рис.2. Графики зависимости  $v_{ап}$  от  $m$  и  $d_r$ 

Как видно из табл. 1, рис. 1 и 2 свидетельствуют, что при больших  $m$  и  $d_r = 0; 1$  числа экспериментов и степеней свободы  $v_{ап}$  достигают 100 и более; это существенно повышает ресурсоемкость экспериментов.

### ТАБУЛЯЦИЯ ТРЕБУЕМЫХ ОТНОШЕНИЙ ДИСПЕРСИЙ

Требуемые значения  $F_{таб}$ , определенные по распределению Фишера для рассчитанных теоретически степеней свободы, сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Табулированные значения  $F$ -отношения для  $\alpha=0,05$  (сверху) и  $\alpha=0,01$  (снизу)**

$m$	$d_r = 0$			$d_r = 1$			$d_r = 2$		
	$v_{ап}$	$v_x$	$\frac{0,05}{0,01}$	$v_{ап}$	$v_x$	$\frac{0,05}{0,01}$	$v_{ап}$	$v_x$	$\frac{0,05}{0,01}$
2	3	8	$\frac{4,2}{7,8}$	-	-	-	-	-	-
3	5	14	$\frac{3,19}{5,01}$	-	-	-	-	-	-
4	10	24	$\frac{2,3}{3,11}$	-	-	-	-	-	-
5	23	42	$\frac{1,8}{2,2}$	6	26	$\frac{2,54}{3,75}$	-2	18	$\frac{-}{-}$
6	49	76	$\frac{1,55}{1,7}$	17	44	$\frac{2,0}{2,08}$	1	28	$\frac{4,25}{7,7}$
7	107	142	$\frac{1,3}{1,68}$	43	78	$\frac{1,58}{1,78}$	11	46	$\frac{2,03}{2,7}$
8	238	272	$\frac{1,1}{1,15}$	100	144	$\frac{1,35}{1,55}$	38	82	$\frac{1,49}{1,95}$

Здесь в каждом столбце табуляций для каждой пары степеней свободы  $v_{ап}$  и  $v_x$  приведены значения  $F_{таб}$  для уровней значимости 0,05 (числитель) и 0,01 (знаменатель).

По табл. 2 можно построить графики  $F_{\text{таб}}(m, d_r)$  для двух уровней значимости. Эти графики приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

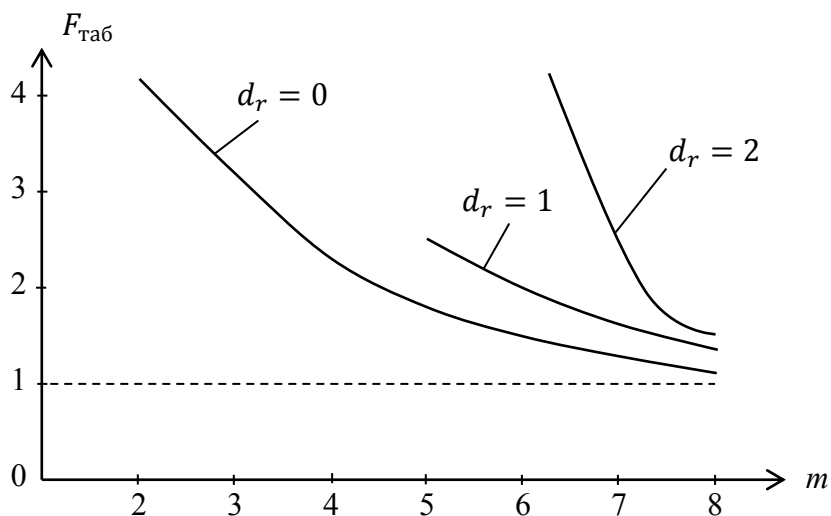


Рис.3. Графики зависимости  $F_{\text{таб}}$  от  $m$  и  $d_r$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$

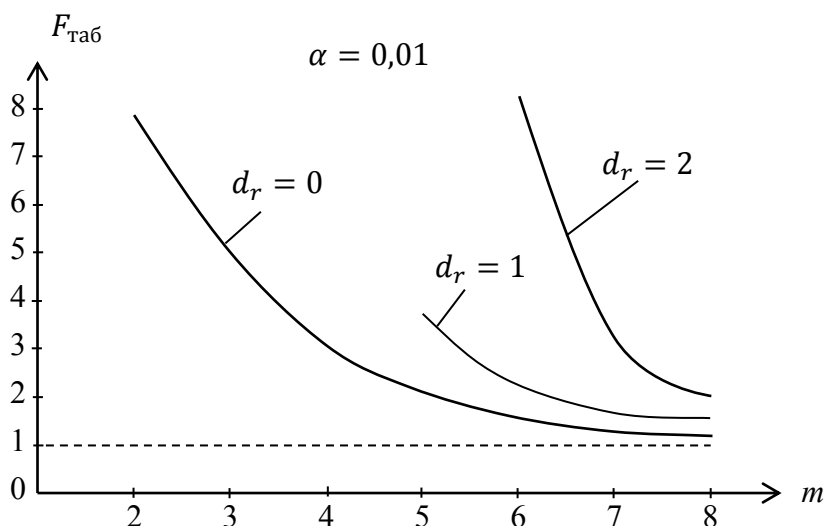


Рис.4. Графики зависимости  $F_{\text{таб}}$  от  $m$  и  $d_r$  при уровне значимости  $\alpha = 0,01$

По графикам рис. 3 и 4 для критерия Фишера  $F_{\text{рас}} > T_{\text{таб}}$  можно рекомендовать планы, которые обеспечивают наименьшие значения  $F_{\text{таб}}$ . Такими значениями являются, например,  $F_{\text{таб}} = 1 - 2$  для  $m = 8$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в статье научные положения в общем виде можно сформулировать следующим образом.

1. Минимизация статистического плана эксперимента может быть осуществлена переносом акцента на теоретический этап методики, опорой на его независимость от результатов эксперимента и использование нормированного отношения дисперсий опыта и аппроксимации.

2. Экспериментальный и расчетный этапы методики только проверяют выполнение предъявленных требований к точности оценок (адекватности модели) и при необходимости корректируют условия задачи полиномиальной аппроксимации.

Научная ценность полученных результатов состоит в дальнейшем развитии теории эксперимента и формировании в ней нового раздела минимизации количества опытов до их проведения. Рекомендации по совершенствованию статистических методов планирования эксперимента могут быть распространены на другие сферы применения статистических гипотез.

Практическая значимость рекомендаций заключается в целенаправленности поисков минимальных объемов выборок случайных значений аппроксимируемых функций и достигаемом при этом их дальнейшем уменьшении.

### **Список используемых источников**

1. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
2. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К.Хартман, Э.Лецкий, В.Шефер; пер. с нем. Г.А.Фомин, Н.С.Лецкая. – М.: Мир, 1977. – 752 с.

В.А. Кежаев,  
*доктор техн. наук, профессор*

## **ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИИ МЕТОДА ДИНАМИКИ СРЕДНИХ К ЗАДАЧАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРЕЛЬБЫ В УСЛОВИЯХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ**

Предлагается метод, позволяющий расширить спектр задач по огневому поражению противника в условиях перспективных боевых действий. Анализируется возможность применения классических уравнений метода динамики средних. Рассматриваются варианты моделирования типовых ситуаций, возникающих в ходе боевых действий, предложенным методом.

Ключевые слова: стрельба, корректирование огня, огневое поражение противника, метод динамики средних, математическая модель стрельбы.

Одной из характерных особенностей современного боя является стремление противоборствующих сторон к огневому поражению с дальних дистанций. При этом возникает много сложных задач организации стрельбы, точность решения которых в значительной степени определяет эффективность поражения объектов противника в ходе динамичного боя. В процессе стрельбы на поражение объектов противника с закрытых огневых позиций предпочтительной является ситуация, когда центр рассеивания совпадает с центром цели. Однако в условиях реального боя при стрельбе с закрытых огневых позиций, как правило, необходимо постоянно осуществлять корректировку огня артиллерии. Это является следствием того, что наличие ошибок подготовки (повторяющихся ошибок стрельбы) неизбежно приводит к отклонению центра рассеивания от центра цели.

Необходимо учитывать, что при стрельбе по ненаблюдаемым целям повторяющиеся ошибки стрельбы не могут быть обнаружены стреляющим. Поэтому он вынужден даже одиночные цели обстреливать на нескольких установках прицела с таким расчетом, чтобы при наличии повторяющейся ошибки цель поражалась. Однако в этой ситуации необходимо иметь в виду, что ошибки могут быть большими, тогда цель будет поражаться частично или вовсе не будет поражаться. Следовательно, возникает объективная потребность в корректировании огня в ходе стрельбы на поражение. В этом случае, как показывает практика, существенно повышается эффективность огня артиллерии и уменьшается расход снарядов. При корректировании огня обычно используется радиолокационная станция или вертолет.

Проанализируем кратко типовую боевую ситуацию и среди множества выявленных проблем, требующих решения, сосредоточим внимание на тех из них, которые в наибольшей степени определяют сущность следующих вопросов:

- каким образом при одних и тех же начальных данных факт наличия и отсутствия средств корректирования огня влияет на исход боя;
- как можно оценить качество корректирования огня.

Для получения ответов на данные вопросы представим типовую боевую ситуацию в виде следующего условного тактического фона, содержанием которого является бой «стороны 1» и «стороны 2».

В ходе одного из эпизодов общевойскового боя атака «сторона 1» была остановлена внезапным интенсивным артиллерийским огнем группировки «стороны 2». В ответ артиллерия «стороны 1» в составе двух артиллерийских дивизионов открыла огонь по артиллерии «стороны 2». В свою очередь, артиллерия «стороны 2» после начала ее обстрела прекратила выполнение ранее полученной задачи и, подготовив данные для стрельбы, через

несколько минут приступила к ведению ответного огня по группировке артиллерии «стороны 1».

По результатам моделирования требуется:

– определить потери обеих сторон в ходе артиллерийской дуэли на различные моменты времени боя;

– исследовать, как влияет качество корректирования огня на результаты боя.

В качестве исходной информации для моделирования предлагается использовать следующие данные:

количество артиллерийских орудий у «стороны 1» .....	$N_1$ ;
скорострельность артиллерийских орудий «стороны 1», выстр./мин.....	$\lambda_1$ ;
вероятность поражения артиллерийских орудий «стороны 2» выстрелом одного артиллерийского орудия «стороны 1» .....	$p_1$ ;
количество артиллерийских орудий у «стороны 2» .....	$N_2$ ;
скорострельность артиллерийских орудий «стороны 2», выстр./мин.....	$\lambda_2$ ;
вероятность поражения артиллерийских орудий «стороны 1» выстрелом одного артиллерийского орудия «стороны 2» .....	$p_2$ ;
момент боя, на котором надо определить потери обеих сторон, мин .....	$t$ .

Условимся, что пределы изменения коэффициентов эффективности корректирования огня  $0 \leq \mathfrak{R}_1 \leq 1$ ;  $0 \leq \mathfrak{R}_2 \leq 1$ .

Математическое описание приведенной ситуации в форме двустороннего полного корректирования огня и полного его отсутствия с обеих сторон с методической точки зрения является классическим. Данная ситуация достаточно просто поддается формализации с помощью известных уравнений Осипова – Ланчестера и Динера.

Ограничения и условия применения модели «хорошо организованного боя» вполне вписываются в тактическую ситуацию, при которой обе стороны осуществляют полное и качественное корректирование огня, исключаящее повторное поражение ранее уничтоженной цели.

В модели «плохо организованного боя», наоборот, успешным выстрелом считается любой выстрел, поразивший цель, в том числе уже ранее пораженную. Это обусловлено отсутствием учета информации о поражении целей (корректирование огня не осуществляется), и не производится перераспределение огня, как в предыдущей модели.

Однако в ходе боевых действий нередко возникают ситуации, когда корректирование огня осуществляет только одна из сторон. Другая сторона в силу определенных ограничений такой возможности не имеет или временно утратила возможность корректировки.

Для описания таких ситуаций необходимо разработать новые модели боя, в основу которых целесообразно положить систему известных уравнений Осипова–Ланчестера и Динера. Интерпретация исходной системы уравнений применительно к новому содержанию боя связана с определенной модификацией структуры каждого уравнения.

Для случая, когда корректирование огня осуществляет «сторона 1», модель боя будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dm_1(t)}{dt} = -\frac{\Lambda_2 m_2(t) m_1(t)}{N_1}; \\ \frac{dm_2(t)}{dt} = -\Lambda_1 m_1(t). \end{cases} \quad (1)$$

Когда корректирование огня осуществляется только «стороной 2», модель боя примет вид:

$$\begin{cases} \frac{dm_1(t)}{dt} = -\Lambda_2 m_2(t); \\ \frac{dm_2(t)}{dt} = -\frac{\Lambda_1 m_1(t) m_2(t)}{N_2}. \end{cases} \quad (2)$$

Обе системы уравнений имеют аналитическое решение, однако достаточно громоздкое, поэтому в случае необходимости при наличии ЭВМ проще воспользоваться одним из методов численного интегрирования.

Рассмотренные ситуации и соответствующие им системы уравнений описывают крайние случаи, связанные с наличием или отсутствием у сторон возможности корректирования огня. При этом если корректирование имеет место, оно всегда эффективно на 100 %, т.е. как только одна цель поражена, огонь сразу переносится на другую цель. Однако в условиях реального боя ситуация более сложная и требует адекватной модификации системы рассмотренных уравнений.

С учетом замечаний, касающихся вопросов приближения моделируемой ситуации к реальной, представляет интерес модель боя, в которой эффективность корректирования огня можно задавать соответствующими коэффициентами  $\mathfrak{R}_1$  и  $\mathfrak{R}_2$ , значения которых лежат в пределах от 0 до 1:

$$\begin{cases} \frac{dm_1(t)}{dm} = -\Lambda_2 m_2(t) \frac{m_1(t) + \mathfrak{R}_2 (N_1 - m_1(t))}{N_1}; \\ \frac{dm_2(t)}{dm} = -\Lambda_1 m_1(t) \frac{m_2(t) + \mathfrak{R}_1 (N_2 - m_2(t))}{N_2}. \end{cases} \quad (3)$$

Данная система уравнений является наиболее общей формой записи моделей динамики боя:

- при  $\mathfrak{R}_1 = \mathfrak{R}_2 = 1$  получаем уравнения Осипова–Ланчестера;
- при  $\mathfrak{R}_1 = \mathfrak{R}_2 = 0$  – уравнения Динера;
- случаи  $\mathfrak{R}_1 = 1, \mathfrak{R}_2 = 0$  и  $\mathfrak{R}_1 = 0, \mathfrak{R}_2 = 1$  описываются соответственно системами уравнений (1) и (2).

Аналитического решения система (3) не имеет, поэтому необходимо использовать для решения методы численного интегрирования. Кроме того, систему можно исследовать, получив ее фазовый портрет.

Предварительно рассмотрим фазовые траектория системы (1) как более простой случай.

Из уравнений динамики боя, в том числе и системы (1), видно, что значения  $m_1(t)$  и  $m_2(t)$  убывают при увеличении  $t$ . Если первым достигает нулевого значения  $m_1(t)$ , то естественно считать, что бой выиграла «сторона 2», в противном случае – «сторона 1».

Назовем множество начальных условий  $(N_1, N_2)$ , при которых бой выигрывает сторона  $i$  ( $i = 1, 2$ ), областью преимущества стороны  $i$ .

Множество начальных условий  $(N_1, N_2)$ , при которых  $m_1(t)$  и  $m_2(t)$  достигают нуля одновременно, назовем линией разделения. Она разграничивает области преимущества сторон.

Система (1), как уже отмечалось, получается из системы (3) при условии, когда

$\mathfrak{R}_1 = 1$  и  $\mathfrak{R}_2 = 0$ .

Избавимся в системе (1) от времени и получим уравнение с разделяющимися переменными:

$$\frac{dm_1(t)}{dm_2(t)} = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 N_1} m_2(t) \Rightarrow dm_1 = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 N_1} m_2 dm_2.$$

После интегрирования имеем

$$m_1 = \frac{\Lambda_2 m_2^2}{2\Lambda_1 N_1} + C. \quad (4)$$

С учетом начальных данных  $m_1(0) = N_1$  и  $m_2(0) = N_2$  находим  $C$ :

$$C = N_1 - \frac{\Lambda_2 N_2^2}{2\Lambda_1 N_1}.$$

Подставив последнее выражение в уравнение (4), определяем фазовую траекторию системы (1):

$$m_1 = \frac{\Lambda_2 (m_2^2 - N_2^2)}{2\Lambda_1 N_1} + N_1. \quad (5)$$

При условии  $m_1 = m_2 = 0$  из последнего выражения находим линию разделения для системы (1):

$$N_1 = N_2 \sqrt{\Lambda_2 / 2\Lambda_1}.$$

Анализируя траекторию, непосредственно примыкающую на своем среднем участке к линии разделения, можно заметить, что вначале бой развивается с некоторым преимуществом для «стороны 2» за счет более высокой скорострельности  $\Lambda_2$ . Однако затем за счет более высокой степени корректирования огня ход боя меняется в пользу «стороны 1».

Теперь найдем первый интеграл системы (3), действуя так же, как и в случае с системой (1):

$$\begin{aligned} & \frac{\Lambda_1 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \left[ m_1 - \frac{\mathfrak{R}_2 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \ln \left( m_1 + \frac{\mathfrak{R}_2 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \right) \right] = \\ & = \frac{\Lambda_2 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \left[ m_2 - \frac{\mathfrak{R}_1 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \ln \left( m_2 + \frac{\mathfrak{R}_1 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \right) \right] + C. \end{aligned} \quad (6)$$

Отсюда с учетом начальных данных  $m_1(0) = N_1$  и  $m_2(0) = N_2$  находим значение  $C$ :

$$C = \frac{\Lambda_1 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \left( N_1 - \frac{N_1 \mathfrak{R}_2 \ln N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \right) - \frac{\Lambda_2 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \left( N_2 - \frac{N_2 \mathfrak{R}_1 \ln N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \right).$$

При  $m_1 = m_2 = 1$  из последнего выражения получаем уравнение линии разделения, которая и в этом случае оказывается прямой,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1 - \mathfrak{R}_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \sqrt{\Lambda_2(1 - \mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_1 \ln \mathfrak{R}_1) / \Lambda_1(1 - \mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_2 \ln \mathfrak{R}_2)}. \quad (7)$$

Ввиду громоздкости формулы (6) при построении фазовых траекторий целесообразно применять приближенные методы. Используя метод Эйлера, систему (4) преобразуем к виду

$$\begin{cases} m_1(t + \Delta t) = m_1(t) - \frac{\Lambda_2}{N_1} m_2(t) [m_1(t) + \mathfrak{R}_2(N_1 - m_1(t))] \Delta t; \\ m_2(t + \Delta t) = m_2(t) - \frac{\Lambda_1}{N_2} m_1(t) [m_2(t) + \mathfrak{R}_1(N_2 - m_2(t))] \Delta t; \\ m_1(0) = N_1, m_2(0) = N_2. \end{cases} \quad (8)$$

Расчет прекращается, когда  $m_1$  или  $m_2$  на очередном шаге станет меньше нуля.

Таким образом, особенности разработки математических моделей стрельбы, адаптированных к условиям динамичного боя, связаны с необходимостью детального анализа характерных типовых ситуаций. С позиций системного анализа эти ситуации, используемые в процессе построения математических моделей стрельбы, должны отражать основные, наиболее существенные признаки, присущие реальному бою. В то же время следует принимать во внимание и специфические черты, которые связаны с особенностями применения артиллерии как основного средства решения задач огневого поражения противника. Эти условия являются определяющими для построения математических моделей стрельбы, адаптированных к условиям динамичного боя и позволяющих адекватно описать особенности применения артиллерии. Определяющим при этом анализе должен быть принцип учета роли и значения семантических основ научно-методического сопровождения процесса разработки модели боя, в ходе которого осуществляется корректирование огня артиллерии.

#### Список используемых источников

1. Основы управления войсками и автоматизация управления артиллерией: учебник / А.Ф.Слабкотос, В.А.Шурилов, В.А.Кежаев и др. – МО СССР, 1987. – Ч. II: Сборник примеров и задач по методам количественного обоснования решений. – 112 с.

И.А. Кочанов,  
*кандидат техн. наук;*  
А.В. Кубуша,  
*кандидат военных наук;*  
И.Г. Кириллов

## **ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В статье рассмотрены проблемы, которые возникают при создании систем управления, работающих в условиях постоянного сокращения времени для лица, принимающего решение по управлению организационно-техническими системами космического назначения. При этом задача создания системы управления сведена к построению гибридных гетерогенных структур моделей, позволяющих моделировать все ее сложные процессы, обеспечивающие принятие управляющего решения и эволюцию системы. Изложены основные проблемы применения многомодельных методов при решении задачи создания и поддержания системы управления.

Ключевые слова: системы поддержки принятия управляющих решений, реальное время, многомодельная среда, модель принятия решения.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Процесс подготовки космического аппарата к запуску представляет собой сложный многофазный процесс, который характеризуется большим количеством операций, высокой динамикой развития текущей ситуации и частой сменой событий. Появляющиеся при этом проблемы и задачи не решаются с помощью формальных математических методов, основанных на точном описании проблемных ситуаций, анализе и выработке механизма управления, так как характеризуются большим числом влияющих факторов, неопределенностью, нечеткостью данных об объекте управления, размытостью и быстрым изменением целей. Внешняя среда все более приобретает свойства нестабильности и неопределенности. Нестабильность проявляется в том, что темпы изменения внешней среды растут, а неопределенность – в том, что возникающие ситуации все чаще становятся совершенно новыми. Доступ к информации для принятия управленческих решений часто затруднен, а работа субъекта управления в такой обстановке осложнена тем, что для принятия решения необходимо проанализировать и сложить в единую картину большое количество разнородной информации об объекте управления.

### **СОЗДАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Центральной фазой всех этапов управленческой деятельности является принятие решения. Эффективность реализации задач принятия решений в значительной степени определяет эффективность управления организационно-техническими системами космического назначения (ОТС КН).

В настоящее время система управления, как сложная система, может и должна характеризоваться многими моделями, отображающими различные стороны (свойства) системы. При этом в процессе решения задачи создания системы управления осуществляется построение гибридных гетерогенных структур моделей, позволяющих моделировать все ее сложные процессы, обеспечивающие принятие управляющего решения и эволюцию системы.

Кроме того, на эффективность управления ОТС существенное влияние оказывает качество информационного взаимодействия при выработке и принятии решений, характеризующееся прежде всего адекватностью, с одной стороны, реализуемой модели информационного

взаимодействия как внутри, так и между уровнями управления, с другой стороны, логики процессов выработки и принятия решений при управлении ОТС КН (выработка и принятие решений с учетом взаимодействия между уровнями управления и определения «мест» поддержки принятия решений) [1].

Необходимость создания системы поддержки принятия решений реального времени (СППР РВ) обуславливается непрерывно возрастающей сложностью управляемых объектов и процессов с одновременным сокращением времени, отводимого лицу, принимающему решение (ЛПР), на анализ проблемной ситуации и принятие необходимых управляющих воздействий.

Концептуально объединяя подходы и методы теории принятия решений, теории информационных систем, искусственного интеллекта и используя объективную и субъективную информацию, СППР РВ обеспечивает ЛПР анализом решаемой проблемы и направляет его в процессе поиска решения с целью повышения эффективности принимаемых решений.

Системы поддержки принятия решений реального времени сегодня – это программно-аппаратные комплексы, предназначенные для помощи ЛПР при управлении сложными объектами и процессами различной природы в условиях жестких временных ограничений. При поиске решения используются экспертные модели, построенные на основе знаний специалистов-экспертов, и эвристические методы поиска решений.

По современной классификации программных средств СППР РВ можно отнести к классу интегрированных интеллектуальных (экспертных) систем логико-лингвистического типа, сочетающих строгие математические методы поиска решения с нестрогими, эвристическими методами, базирующимися на экспертных знаниях.

Одна из основных задач при конструировании СППР РВ – выбор подходящего формального аппарата для описания процесса принятия решений и построение на его базе адекватной (корректной) модели принятия решений. В качестве такого аппарата обычно используются продукционные системы. Однако имеющиеся на сегодня программные инструментальные средства проектирования экспертных систем ориентируются в основном на статические проблемные области, т. е. на ситуации, не требующие коррекции модели и выработки стратегии принятия решений в процессе поиска решения [3].

Широкий круг задач, решаемых при создании системы управления, требует разработки ряда моделей различных видов и различной степени детализации, каждая из которых ориентирована на выполнение определенных специфических функций. При этом жизненно важно, чтобы эти модели можно было использовать совместно друг с другом, т. е. осуществлять некоторый информационный обмен на уровне моделей.

Существенным недостатком подхода к автоматизации процесса создания системы управления является нарушение информационного обмена между отдельными моделями (оперативно-тактическими задачами). Для обеспечения такого обмена модели должны использовать единый формат информационной среды, обмениваться знаниями и данными, допускать легкую настройку на конкретные условия, использовать результаты работы друг друга, допускать динамическую модификацию в процессе эксплуатации по мере накопления знаний и данных об обстановке. Это взаимодействие должно происходить в процессе принятия решений на построение системы огня. Следовательно, стоит задача не только разработки системы моделей для решения отдельных задач создания системы управления, но и средств (метамodelей) их «взаимопонимания». В результате решения этой задачи должна появиться некоторая совокупность моделей, в которой имеет место преобладание горизонтальных связей над вертикальными (рис. 1).

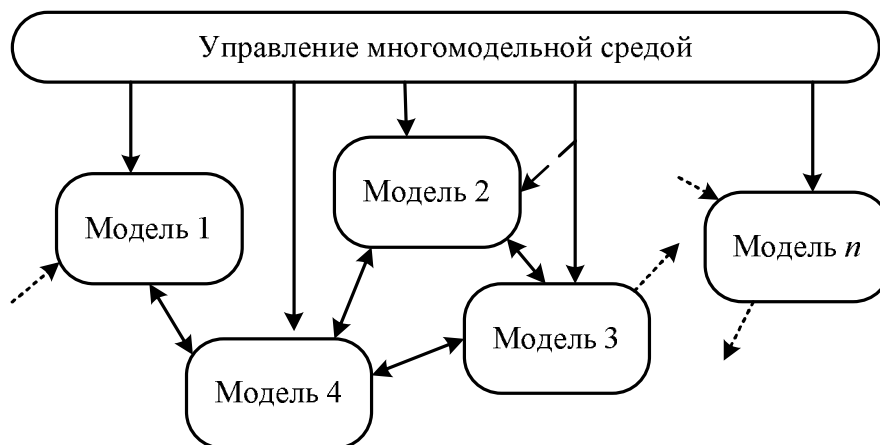


Рис. 1. Условное представление многомодельной среды

Важной особенностью процесса создания системы управления является коллективная работа над задачей ряда специалистов (командира, офицеров штаба), т.е. эта задача является многоагентной. Следовательно, многомодельная среда, создаваемая на основе комплексного использования имитационного моделирования, методов исследования операций и теории принятия решений, накладывается на структуру системы работы командира и штаба при выработке решения на применение ОТС, т.е. на структуру многоагентной системы.

Каждый отдельный агент обладает определенным объемом знаний и должен иметь доступ к общей информационной базе гибридной многомодельной системы, т.е. иметь возможность использовать эту информацию при принятии решений.

Таким образом, решая задачу построения многомодельной среды для синтеза системы управления, необходимо решить не только проблему взаимодействия моделей, но и проблему взаимодействия пользователей этих моделей (агентов).

Важной проблемой практического применения многомодельной среды является необходимость развития моделей и их адаптации к новым условиям применения и новым задачам, решаемым ОТС КН, т.е. эволюция моделей. Вопросы эволюции моделей в многомодельной среде, насколько известно, пока детально не исследовались, хотя имеется ряд работ по интеграции моделей, их взаимодействию и пр. [3].

Следует отметить, что процесс разработки имитационных моделей и проведение на них исследований представляет собой достаточно сложный итерационный процесс, который можно рассматривать как процесс эволюции (рис. 2).

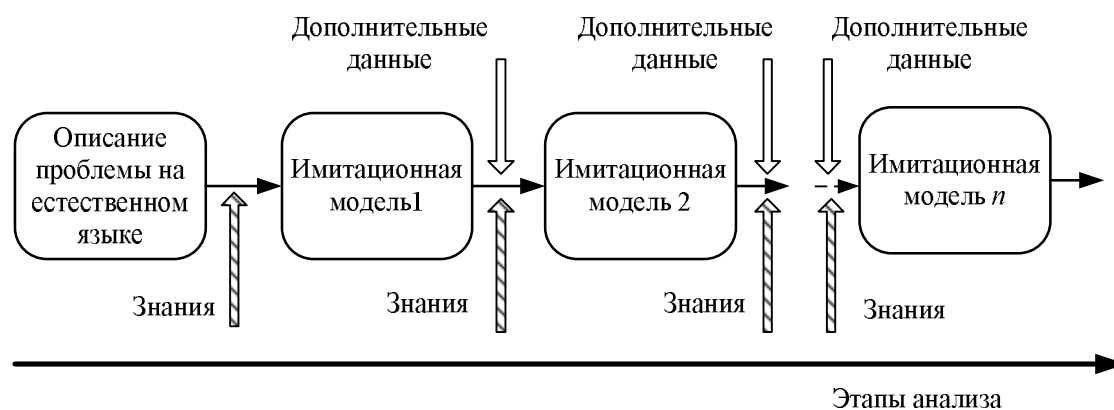


Рис. 2. Изменение моделей в процессе анализа сложной системы

Для сложной системы такая модель не может быть построена один раз и навсегда. По мере ее использования появляется много новой уточняющей информации, снимается часть как внешней, так и внутренней неопределенности модели. Более того, имитационная модель сама выступает как некоторое знание о моделируемой системе и источник новых знаний о ней, поэтому по мере эволюции сложной системы должна происходить эволюция моделей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основными проблемами применения многомодельных методов при решении задачи создания и поддержания системы управления являются:

- проблема информационного взаимодействия моделей в многомодельной среде;
- проблема взаимодействия различных пользователей многомодельной среды (проблема многоагентного взаимодействия);
- проблема эволюции моделей в многомодельной среде.

Решение этих проблем обеспечит создание принципиально новых по сравнению с существующими средств автоматизации процесса создания и поддержания системы управления.

## Список используемых источников

1. Привалов А.Е., Кочанов И.А., Бугайченко П.Ю. Онтологический подход к формированию ситуационной осведомленности при управлении эксплуатацией ракетно-космических комплексов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2013 – Вып.639. – С. 93–99.
2. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. – М.: Финансы и статистика, 2002.
3. Зернов М.И., Злобинова М.В., Котов Д.В. Алгоритмизация выбора моделей в системах поддержки принятия решений реального времени // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2012 – Т.10, №6. – С. 30–36.

С.В. Лучко,  
доктор техн. наук, профессор;  
А.Б. Петухов;  
А.А. Ядренкин,  
кандидат техн. наук, доцент

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Представлена оценка влияния высокочастотной помехи на динамические качества системы автоматического управления. Возникающий эффект вибрационного сглаживания характеристики нелинейного звена позволяет процессы в нелинейной системе исследовать методами теории линейных систем. Раскрыты положительные и отрицательные аспекты влияния помехи в системах автоматического управления ракетно-космической техники.

Ключевые слова: нелинейная система автоматического управления, помеха, вибрационная линеаризация нелинейности, помехоустойчивость, точность.

Во многих случаях системы автоматического управления подвергаются влиянию высокочастотных помех. В общем случае помеха представляет собой случайную функцию времени. Однако вероятностные характеристики помех, как правило, неизвестны. Поэтому обычно помеха представляют гармонической функцией

$$f_{\Pi} = A_{\Pi} \sin \omega_{\Pi} t. \quad (1)$$

В этом случае полагают, что значения амплитуды помехи  $A_{\Pi}$  и ее частоты  $\omega_{\Pi}$  находятся в некотором наперед заданном диапазоне.

Способность системы сохранять устойчивость при наличии помех принято называть помехоустойчивостью системы. Проблема помехоустойчивости типична только для нелинейных систем. Устойчивость линейных систем, как известно, не зависит от внешних воздействий, в том числе и от помех.

Рассмотрим систему, структурная схема которой изображена на рис.1. На ее входе действуют медленно меняющееся задающее воздействие  $g(t)$  и высокочастотная гармоническая помеха (1).

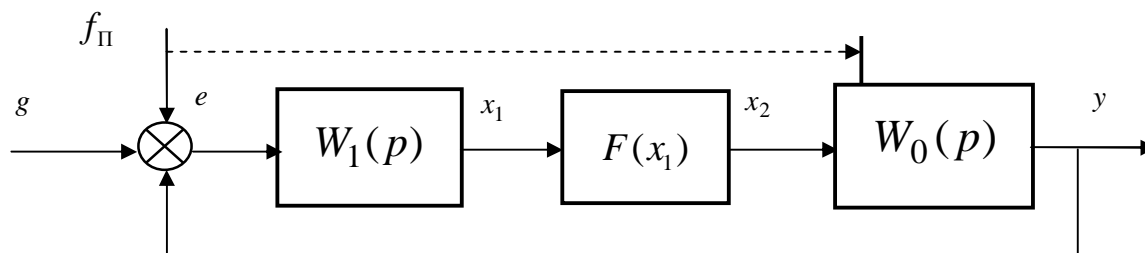


Рис. 1. Обобщенная структурная схема нелинейной системы

Полагается, что объект с передаточной функцией  $W_0(p)$  является фильтром низких частот, т.е. подавляет высокочастотные колебания. Поэтому помеха проходит только так, как на рис.1 показано пунктиром. Иными словами, для помехи система оказывается разомкнутой. Таким образом, если передаточная функция корректирующего устройства  $W_1(p) = 1$ , то на входе нелинейного звена с характеристикой  $F(x_1)$  действует сигнал

$$x_1 = x_1^0 + A_{\Pi} \sin \omega_{\Pi} t, \quad (2)$$

где  $x_1^0$  — медленно изменяющаяся полезная составляющая, вызываемая задающим воздействием  $g(t)$ . Для нее система остается замкнутой.

Под влиянием помехи при определенных условиях происходит вибрационное сгла-

живание характеристики нелинейного звена [1]. В результате она заменяется плавной кривой проходящей через начало координат. Например, характеристика с ограничением или насыщением (рис. 2,а) заменяется плавной кривой (рис. 2,б). Однако такая замена справедлива только для медленно меняющегося полезного сигнала.

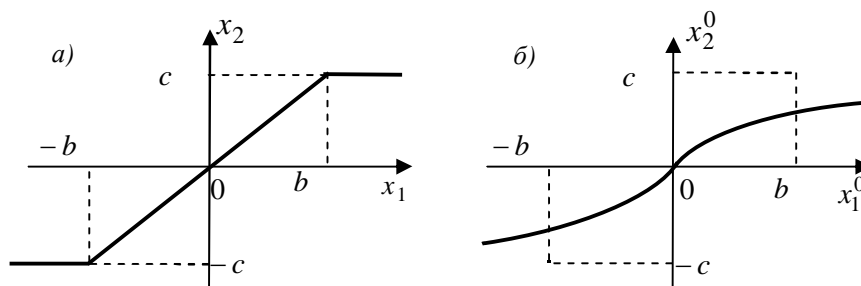


Рис. 2. Характеристика нелинейного звена

Характеристика сигнала на выходе нелинейного звена, представленная на рис. 3., наглядно раскрывает смысл вибрационной линеаризации. Понятно, что если выполняется условие

$$|x_1^0| + A_{\Pi} \leq b,$$

то сигнал (2) проходит через нелинейное звено без искажений. В этом случае полезный сигнал на выходе звена  $x_2^0 = k_F x_1^0$ , где  $k_F = c/b$ . Если же амплитуда помехи  $A_{\Pi}$  такова, что

$$|x_1^0| + A_{\Pi} > b,$$

то верхушки синусоид срезаются, сигнал  $x_2$  на выходе звена заметно искажается (рис.3,б), а зависимость его медленно изменяющейся составляющей

$$x_2^0 = F(x_1^0 + A_{\Pi} \sin \omega_{\Pi} t) \quad (3)$$

становится нелинейной.

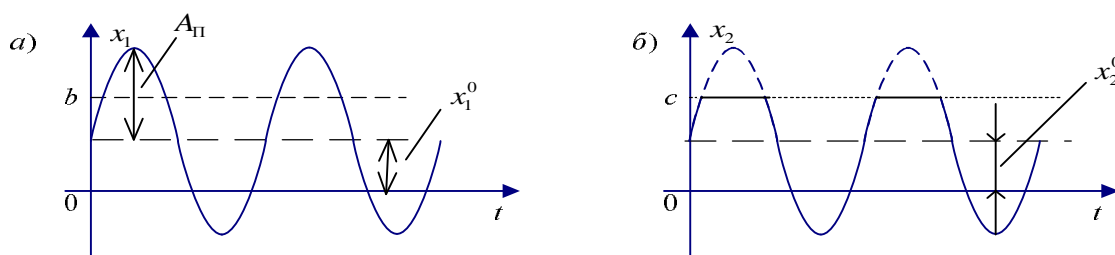


Рис. 3. Характеристика сигнала на выходе нелинейного звена

График зависимости (3) и представляет собой плавную кривую, изображенную на рис.2,б.

В свою очередь, плавность этой кривой позволяет произвести обычную линеаризацию, заменив кривую на некотором участке касательной или секущей. Тогда только для медленно изменяющегося полезного сигнала реальная нелинейная характеристика, изображенная на рис.2,а, заменится линеаризованной характеристикой

$$x_2^0 = k_H x_1^0, \quad (4)$$

где коэффициент передачи

$$k_H = \frac{2k_F}{\pi} \arcsin \frac{b}{A_{\Pi}}, \quad k_F = \frac{c}{b}, \quad (5)$$

Такая замена называется вибрационной линеаризацией [1]. Для помехи нелинейная характеристика остается прежней.

Из (5) следует, что при выполнении условия  $A_{\Pi} > b$  коэффициент передачи нелинейного звена по полезному сигналу уменьшается, т.е.  $k_H < k_F$ . Помеха с большой амплитудой почти полностью «забивает» вход звена и делает систему неработоспособной. В ряде случаев уменьшение коэффициента  $k_H$  может привести к неустойчивости системы.

Результаты вибрационной линеаризации характеристик других нелинейных звеньев приведены в работе [1]. Для них всех линеаризованное уравнение (4) остается справедливым. Изменяется лишь выражение для коэффициента  $k_H$ .

Например, для идеального релейного звена, характеристика которого  $x_2 = c \operatorname{sign} x_1$ ,

$$k_H = \frac{2c}{\pi A_{\Pi}};$$

а для звена с зоной нечувствительности, характеристика которого

$$x_2 = \begin{cases} k(x_1 - b \operatorname{sign} x_1) & \text{при } |x_1| \geq b, \\ 0 & \text{при } |x_1| < b, \end{cases}$$

коэффициент передачи

$$k_H = k - \frac{2k}{\pi} \arcsin \frac{b}{A_{\Pi}}. \quad (6)$$

В последнем случае под влиянием помехи устраняется зона нечувствительности для полезного сигнала, что способствует повышению точности системы. С другой стороны, при выполнении условия  $A_{\Pi} > b$  коэффициент передачи нелинейного звена по полезному сигналу уменьшится (6). Это может привести к неустойчивости системы.

Например (рис.4), если при некотором значении коэффициента передачи разомкнутой системы  $k$  АФХ разомкнутой системы имеет вид 1, то замкнутая система устойчива. При уменьшении коэффициента АФХ может принять вид 2. Тогда замкнутая система станет неустойчивой.

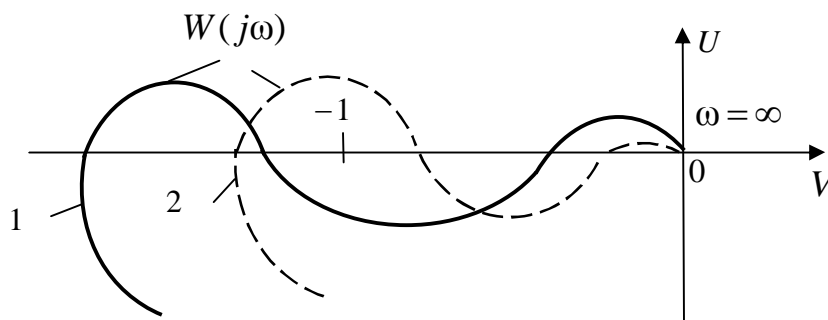


Рис. 4. АФХ разомкнутой системы

Благодаря вибрационной линеаризации, устраняется влияние таких «вредных» нелинейностей, как люфты, зазоры, сухое трение, гистерезис и др. Однако в ряде случаев одновременно уменьшается коэффициент передачи для полезного сигнала.

Проблему помехоустойчивости рассмотрим вначале на примере системы, структурная схема которой изображена на рис.5.

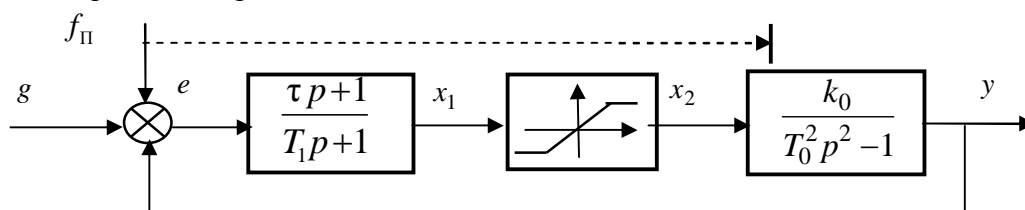


Рис. 5. Структурная схема нелинейной системы

На входе системы кроме медленно изменяющегося задающего воздействия  $g(t)$  действует высокочастотная помеха  $f_{\Pi}$  (1). Нелинейное звено имеет характеристику с насыщением или ограничением, показанными на рис.2,а. В системе используется линейное корректирующее звено с передаточной функцией

$$W_1(p) = \frac{\tau p + 1}{T_1 p + 1}. \quad (7)$$

Передаточная функция объекта

$$W_0(p) = \frac{k_0}{T_0^2 p^2 - 1}. \quad (8)$$

Положим вначале, что помеха отсутствует. Если сигнал на входе нелинейного звена  $x_1 = x_1^0$ , причем  $|x_1^0| < b$ , то это звено можно рассматривать как линейное, коэффициент передачи которого  $k_F = c / b$ . Тогда передаточная функция разомкнутой системы

$$W(p) = \frac{k(\tau p + 1)}{(T_0^2 p^2 - 1)(T_1 p + 1)}, \quad (9)$$

где  $k$  – коэффициент передачи разомкнутой системы, при этом  $k = k_F k_0$ .

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид

$$T_0^2 T_1 p^3 + T_0^2 p^2 + (k\tau - T_1)p + (k - 1) = 0.$$

Согласно критерию Гурвица замкнутая система устойчива, если

$$k > 1, \quad \tau > T_1. \quad (10)$$

Положим теперь, что на входе системы кроме воздействия  $g(t)$  существует помеха (1). Объект системы с передаточной функцией (8) является фильтром низких частот и подавляет помеху. Однако теперь на входе нелинейного звена вместо (2) действует сигнал

$$x_1 = x_1^0 + A_{\Pi} \sin(\omega_{\Pi} t + \phi), \quad (11)$$

Амплитуда помехи на входе нелинейного звена

$$A_{\Pi 1} \approx A_{\Pi} |W_1(j\omega_{\Pi})|, \quad (12)$$

где  $|W_1(j\omega)|$  – модуль,  $\phi$  – аргумент частотной передаточной функции  $W_1(j\omega)$ .

Чтобы замкнутая система была устойчивой, должно выполняться условие  $\tau > T_1$ . Но в этом случае звено (7) должно быть фильтром высоких частот и амплитуда помехи на его выходе  $A_{\Pi 1} > A_{\Pi}$ . Поэтому коэффициент передачи нелинейного звена для медленно изменяющегося полезного сигнала изменяется. Теперь вместо (5) выражение для него в первом приближении можно записать в виде:

$$k_{H1} = \frac{2k_F}{\pi} \arcsin \frac{b}{A_{\Pi 1}}; \quad k_F = \frac{c}{b}, \quad (13)$$

причем  $k_{H1} < k_H$ . В результате уменьшается коэффициент передачи разомкнутой системы, величина которого  $k = k_{H1} k_0$ . Если окажется, что  $k < 1$ , то будет нарушено первое из условий устойчивости (10) и замкнутая система станет неустойчивой.

По-иному проявляется влияние помехи в системах, в которых нелинейное звено охватывается местной отрицательной обратной связью. В частности, примером такой системы может служить рулевой привод, используемый в системах управления различных летательных аппаратов (рис.6).

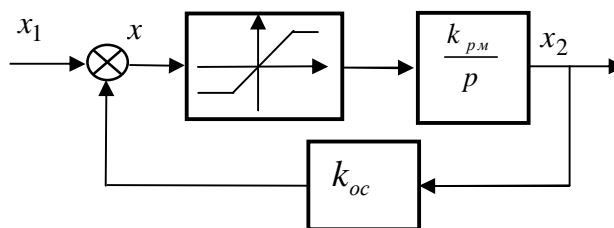


Рис. 6. Структурная схема рулевого привода ЛА

На входе нелинейного звена действует смесь медленно изменяющегося полезного сигнала и высокочастотной помехи. Нелинейность обусловлена ограничением скоростной характеристики рулевой машины, передаточная функция которой  $W_{pm}(p) = k_{pm} / p$ . Сама рулевая машина является фильтром низких частот и подавляет помеху.

Передаточная функция рулевого привода

$$W_{pp}(p) = \frac{k_H k_{pm}}{p + k_H k_{pm} k_{oc}} = \frac{k_{np}}{T_{np} p + 1}, \quad (14)$$

$$k_{np} = \frac{1}{k_{oc}}, \quad T_{np} = \frac{1}{k_H k_{pm} k_{oc}}.$$

Можно сделать вывод, что для полезного сигнала его коэффициент передачи  $k_{np}$  не зависит от помехи. Однако под влиянием помехи уменьшается коэффициент передачи нелинейного звена  $k_H$ , и тем самым увеличивается постоянная времени привода  $T_{np}$ . Последнее может привести к уменьшению запаса устойчивости и даже к неустойчивости всей системы, в состав которой входит рулевой привод.

### Список используемых источников

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е. – СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
2. Лучко С.В. Теория автоматического управления: учебник. – ВКА им. А.Ф.Можайского, 2007. – 378 с.
3. Лучко С.В. Курс лекций по теории автоматического управления. – МО, 1982. – Ч. 2. – 274 с.

Ю.С. Мануйлов,  
*доктор техн. наук;*  
Б.В. Москвин,  
*кандидат техн. наук;*  
Д.А. Павлов

## **МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ЗВЕНЬЯХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ**

Изложен современный подход к планированию распределения операций управления информационными потоками между элементами и подсистемами автоматизированной системы управления космическими аппаратами (АСУ КА). В основе предлагаемого подхода лежит модель планирования операций получения, обработки и передачи целевой информации в различных звеньях АСУ КА. Приведен пример решения оптимизационной задачи распределенной обработки информации в канале «борт-земля».

Ключевые слова: оптимизация, планирование, распределенная обработка, автоматизированные системы управления.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Отличительная особенность современных систем управления космическими средствами состоит в необходимости оперативной и качественной обработки огромных потоков разнородной информации, производимой с целью выработки рациональных решений по управлению космическими средствами. Развитие и возрастание сложности объектов управления (КА и средств наземного комплекса), повышение требований к качеству управления в связи с возрастанием цены управленческой ошибки, рост технологической сложности процессов управления ведут к повышению интенсивности управленческого труда. Такая тенденция имеет устойчивый характер во всех областях деятельности человека, и, именно она обуславливает необходимость автоматизации управления. Основой автоматизированного управления является формализованное описание ситуации принятия решения – математическая модель. В настоящее время имеются значительные успехи в разработке и широком практическом применении математических моделей различных классов, для которых разработаны эффективные алгоритмы оптимизации, позволяющие получать решения в приемлемое для войсковой практики время. Большое разнообразие ситуаций, возникающих при управлении космическими средствами, необходимость оперативного принятия решений, удовлетворяющих разнородным качественным требованиям, определяемым спецификой целевого функционирования военных систем, требуют комплексного использования богатого арсенала математических моделей, разработанных в рамках системно-кибернетических исследований. Это модели математического программирования, позволяющие учитывать основные особенности функционирования космических средств. В рамках моделей данных классов накоплен значительный опыт разработки достаточно эффективных алгоритмов, позволяющих наиболее полно отражать специфику решаемых задач.

Весьма актуальной в условиях развития средств обработки информации является задача рационального распределения функций обработки информации в различных звеньях АСУ КА. В качестве таких звеньев [1] можно выделить вычислительный комплекс на борту КА (БВК), вычислительный комплекс отдельного командно-измерительного комплекса (ВК

комплекса (ВК ОКИК) и вычислительные средства Центра сбора и обработки информации (ВК ЦСОИ). Указанные вычислительные комплексы обладают [2] различными характеристиками и соединены каналами связи (космическими и наземными). В систему такого рода с определенной периодичностью поступает целевая информация, которая должна быть обработана и доставлена до потребителя за заданное (или за минимальное) время.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать модель планирования операций получения, обработки и передачи целевой информации в АСУ КА, которая относится к моделям математического программирования [3, 4].

Обозначим бортовой вычислительный комплекс как  $A_1$ , ВК ОКИК – как  $A_2$ , ВК ЦСОИ – как  $A_3$ . Канал связи БВК – ВК ОКИК обозначим как  $B_{12}$ , канал связи ВК ОКИК – ВК ЦСОИ обозначим как  $B_{23}$ . Тогда интенсивность подготовки информации для отправки в канал (без использования вычислительных средств) в звеньях  $A_1, A_2, A_3$  обозначим соответственно как  $w_{10}, w_{20}, w_{30}$ ; интенсивность обработки с использованием вычислительных средств обозначим соответственно как  $w_{11}, w_{21}, w_{31}$ . В результате обработки информации в некотором звене количество информации, предназначенной для передачи к последующим звеньям, сокращается. Коэффициент сокращения объема информации обозначим как  $k_i, i=1,2,3; k_i \in [0,1]$ . Скорость передачи информации между звеньями  $A_1$  и  $A_2$  (в канале  $B_{12}$ ) обозначим как  $v_{12}$ , скорость передачи информации между звеньями  $A_2$  и  $A_3$  (в канале  $B_{23}$ ) обозначим как  $v_{23}$ . Объем информации, предназначенной для передачи и обработки, обозначим как  $V_0$ ; объем информации, предназначенной для логического анализа после обработки во всех звеньях, обозначим как  $V_{pez}$ ; время, в течение которого информация должна быть обработана, обозначим через  $T$ .

Информация в объеме  $V_0$  поступает в звено  $A_1$ , где она может обрабатываться с интенсивностью  $w_{11}$ , либо подготавливаться к передаче с интенсивностью  $w_{10}$  и передаваться в канал  $B_{12}$ . Тогда звено  $A_1$  может быть представлено в виде совокупности трех узлов:  $A_{10}$  – информация приходит в  $A_1$ ;  $A_{11}$  – информация обрабатывается в  $A_1$ ;  $A_{12}$  – информация передается в канал  $B_{12}$ . Условия обработки информации в  $A_1$  можно описать ограничениями:

$$V_0 = w_{10} x_{10} + w_{11} x_{11}, \quad (1)$$

$$k_1 w_{11} x_{11} = w_{10} x_{12}, \quad (2)$$

$$w_{10} x_{10} + w_{10} x_{12} = v_{12} y_{12}. \quad (3)$$

Здесь  $x_{10}$  – время подготовки информации, передаваемой в канал  $B_{12}$  без обработки в БВК;

$x_{11}$  – время обработки информации в БВК;

$x_{12}$  – время подготовки информации к передаче в канал  $B_{12}$  после ее обработки в БВК;

$y_{12}$  – время передачи информации в канале  $B_{12}$ .

В звено  $A_2$  поступает информация из звена  $A_1$  в объеме  $v_{12}x_{12}$ , здесь она также может обрабатываться с интенсивностью  $w_{21}$ , либо подготавливается к передаче в канал  $B_{23}$  с интенсивностью  $w_{20}$ . Тогда звено  $A_2$  может быть представлено в виде совокупности трех узлов:  $A_{20}$  – информация приходит в  $A_2$ ;  $A_{21}$  – информация обрабатывается в  $A_2$ ;  $A_{23}$  – информация передается в канал  $B_{23}$ . Условия обработки информации в  $A_2$  можно описать ограничениями:

$$v_{12} x_{12} = w_{20} x_{20} + w_{21} x_{21}, \quad (4)$$

$$k_2 w_{21} x_{21} = w_{20} x_{23}, \quad (5)$$

$$w_{20} x_{20} + w_{20} x_{23} = v_{23} y_{23}. \quad (6)$$

Здесь  $x_{20}$  – время подготовки информации, передаваемый в канал  $B_{23}$  без обработки в ВК ОКИК;

$x_{21}$  – время обработки информации в ВК ОКИК;

$x_{23}$  – время подготовки информации к передаче в канал  $B_{23}$  после ее обработки в ВК ОКИК;

$y_{23}$  – время передачи информации в канале  $B_{23}$ .

В звено  $A_3$  поступает информация из звена  $A_2$  в объеме  $v_{23}x_{23}$ , здесь она обрабатывается с интенсивностью  $w_{31}$ . Тогда звено  $A_3$  может быть представлено в виде совокупности двух узлов:  $A_{30}$  – информация приходит в  $A_3$ ;  $A_{31}$  – информация обработана до заданного объема. Условия обработки информации в  $A_3$  можно описать ограничениями:

$$v_{23}x_{23} = w_{31}x_{31}, \quad (7)$$

$$k_3 w_{31} x_{31} = V_{\text{рез}}. \quad (8)$$

Здесь  $x_{31}$  – время обработки информации в ВК ЦСОИ.

Необходимость обработки информации за заданное время  $T$  требует анализа возможных путей прохождения информации. Таких путей здесь четыре:

1 –  $(A_{10}, A_{12}, A_{20}, A_{23}, A_{30}, A_{31})$ ,

2 –  $(A_{10}, A_{11}, A_{12}, A_{20}, A_{23}, A_{30}, A_{31})$ ,

3 –  $(A_{10}, A_{12}, A_{20}, A_{21}, A_{23}, A_{30}, A_{31})$ ,

4 –  $(A_{10}, A_{11}, A_{12}, A_{20}, A_{21}, A_{23}, A_{30}, A_{31})$ .

Соответственно условия передачи и обработки информации за заданное время будут иметь вид:

$$x_{10} + y_{12} + x_{20} + y_{23} + x_{31} \leq T, \quad (9)$$

$$x_{11} + x_{12} + y_{12} + x_{20} + y_{23} + x_{31} \leq T, \quad (10)$$

$$x_{10} + y_{12} + x_{21} + x_{23} + y_{23} + x_{31} \leq T, \quad (11)$$

$$x_{11} + x_{12} + y_{12} + x_{21} + x_{23} + y_{23} + x_{31} \leq T. \quad (12)$$

Ограничения (1)–(12) описывают множество допустимых вариантов планов передачи и обработки информации.

В качестве критерия могут выступать: требование передачи максимального объема информации за заданное время  $T$   $V_{\text{рез}} \rightarrow \max$ ; требование передачи заданного объема информации  $V_0$  за минимальное время  $T \rightarrow \min$ ; и другие требования.

В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда необходимо передать и обработать максимально возможный объем  $V_{\text{рез}} \leq V_0 = 12000$  ед. информации за заданное время  $T = 1200$  с. Характеристики технических средств АСУ следующие:  $w_{10} = 20$  ед./с;  $w_{11} = 30$  ед./с;  $k_1 = 0.7$ ;  $w_{20} = 30$  ед./с;  $w_{21} = 40$  ед./с;  $k_2 = 0.5$ ;  $w_{31} = 60$  ед./с;  $k_3 = 0.3$ ;  $v_{12} = 20$ ;  $v_{23} = 30$ .

Математическая модель планирования в такой ситуации будет иметь вид:

$$V_{\text{рез}} \rightarrow \max,$$

$$20x_{10} + 30x_{11} = 12000,$$

$$21x_{11} - 20x_{12} = 0,$$

$$20x_{10} + 20x_{12} - 20y_{12} = 0,$$

$$30x_{20} + 40x_{21} - 20x_{12} = 0,$$

$$20x_{21} - 30x_{23} = 0,$$

$$30x_{20} + 30x_{23} - 30y_{23} = 0,$$

$$30x_{23} - 60x_{31} = 0,$$

$$18x_{31} = V_{\text{рез}},$$

$$x_{10} + y_{12} + x_{20} + y_{23} + x_{31} \leq 1200,$$

$$x_{11} + x_{12} + y_{12} + x_{20} + y_{23} + x_{31} \leq 1200,$$

$$x_{10} + y_{12} + x_{21} + x_{23} + y_{23} + x_{31} \leq 1200,$$

$$x_{11} + x_{12} + y_{12} + x_{21} + x_{23} + y_{23} + x_{31} \leq 1200.$$

После приведения модели планирования к каноническому виду посредством добавления соответствующих дополнительных переменных задача может быть решена методом последовательного улучшения планов (симплекс-методом). Матрица ограничений при этом будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{bmatrix}
 30 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 21 & 0 & -20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 20 & 20 & -40 & 0 & -30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 20 & -30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 30 & 30 & -60 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 18 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix}
 12000 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 1200 \\
 1200 \\
 1200 \\
 1200
 \end{bmatrix}.$$

Решением задачи являются:

- объем обработанной информации, доставленный до потребителя = 1293.75;
- время обработки информации в БВК = 375 с;
- время передачи необработанной информации в канале  $B_{13} = 37.5$  с;
- время передачи обработанной информации в канале  $B_{13} = 393.75$  с;
- время обработки информации в ВК ОКИК = 215.625 с;
- время передачи обработанной информации в канале  $B_{23} = 143.75$  с;
- время обработки информации в ВК ЦСОИ = 71.875 с.

Таким образом, в БВК было обработано 11250 ед. информации, в ВК ОКИК – 8525, а в ВК ЦСОИ – 4312. В условиях имеющихся ограничений и соответствующей целевой функции данное решение является оптимальным.

Рассмотренная модель планирования распределенной обработки может быть также применена и для других автоматизированных систем, для которых повышение производительности в рамках жестких временных ограничений имеет решающее значение.

### Список используемых источников

1. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник / Ю.С. Мануйлов, В.Н. Калинин, В.С. Гончаревский, И.И. Делий, Е.А. Новиков; под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2010. – 609 с.
2. Системный анализ и организация автоматизированного управления космическими аппаратами: учебник / Ю.С. Мануйлов, Е.А. Новиков, А.Н. Павлов, А.Н. Кудряшов, А.В. Петрошенко; под общ. ред. Ю.С. Мануйлова. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2010. – 266 с.
3. Москвин Б.В. Теория принятия решений: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2004. – 383 с.
4. Москвин Б.В., Павлов А.Н., Петрошенко А.В. Методы и технологии выработки управленческих решений. Курс лекций: учебно-методическое пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2005. – 260 с.

А.И. Алтухов,  
кандидат техн. наук, доцент;  
В.И. Горбулин,  
доктор техн. наук, профессор;  
П.П. Рымкевич,  
кандидат физ.-мат. наук, доцент;  
Д.Л. Каргу,  
кандидат техн. наук, доцент;  
Н.В. Радионов,  
доктор эконом. наук, кандидат техн. наук

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УЧЕТА МАЛЫХ СИЛ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПРИРОДЫ В ЗАДАЧЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА ДВИЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС НАВИГАЦИОННОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В настоящей статье рассмотрена гипотеза возникновения немоделируемых ускорений центра масс навигационного космического аппарата, возникающих вследствие взаимодействия токовых контуров бортовой системы электроснабжения и неоднородного магнитного поля Земли. Представлена математическая модель влияния сверхмалых сил на движение центра масс КА.

Ключевые слова: неоднородное магнитное поле, градиент, центр масс космического аппарата, токовый контур, немоделируемые ускорения.

### ВВЕДЕНИЕ

Истинное движение навигационного космического аппарата (НКА) по орбите заметно отличается от расчетного из-за возмущений, основными из которых являются: нецентральность гравитационного поля Земли; гравитационное влияние Луны и Солнца; световое давление; геодинамические явления и воздействие внутренних сил (управляющих воздействий). Если не учитывать приведенные выше воздействия, то высокоточное определение параметров орбиты НКА и ее прогнозирование становятся невозможными.

Начиная с высот около 20 000 км, возмущения от притяжения Луны и Солнца превышают аномалии силы тяжести, а с высот более 50 000 км превосходят все остальные гравитационные возмущения [1].

Ниже представлены теоретические материалы, поясняющие механизм возникновения малых сил при взаимодействии токовых контуров бортовых систем электроснабжения с внешним неоднородным магнитным полем. Такого рода силы в настоящее время в практической космонавтике не учитываются в используемых моделях прогнозирования движения НКА, почему и получили название «немоделируемые».

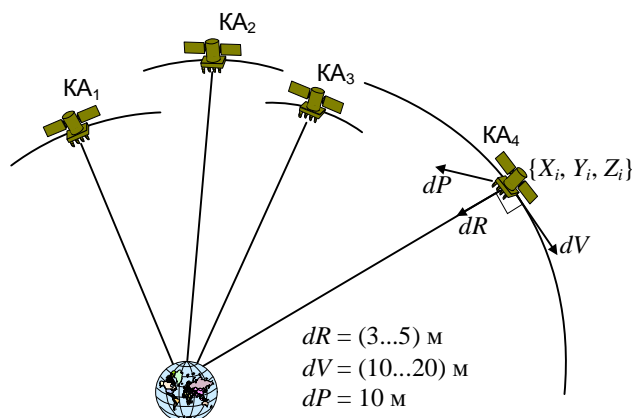


Рис. 1. Средние квадратические отклонения случайных составляющих погрешностей определения местоположения НКА на орбите

На худших участках орбиты НКА, где максимальны немоделируемые возмущающие ускорения (НМУ), действующие на НКА, средние квадратические отклонения случайных составяющих погрешностей определения местоположения НКА на орбите составляют: по высоте  $dR$  – около 5 м, вдоль орбиты  $dV$  – 20 м, по бинормали  $dP$  – 10 м (рис. 1) [2].

На рис. 2 представлены результаты определения координат при приеме сигналов от НКА, движущихся как по «идеальным», так и по «возмущенным» орбитам по одной из координат.

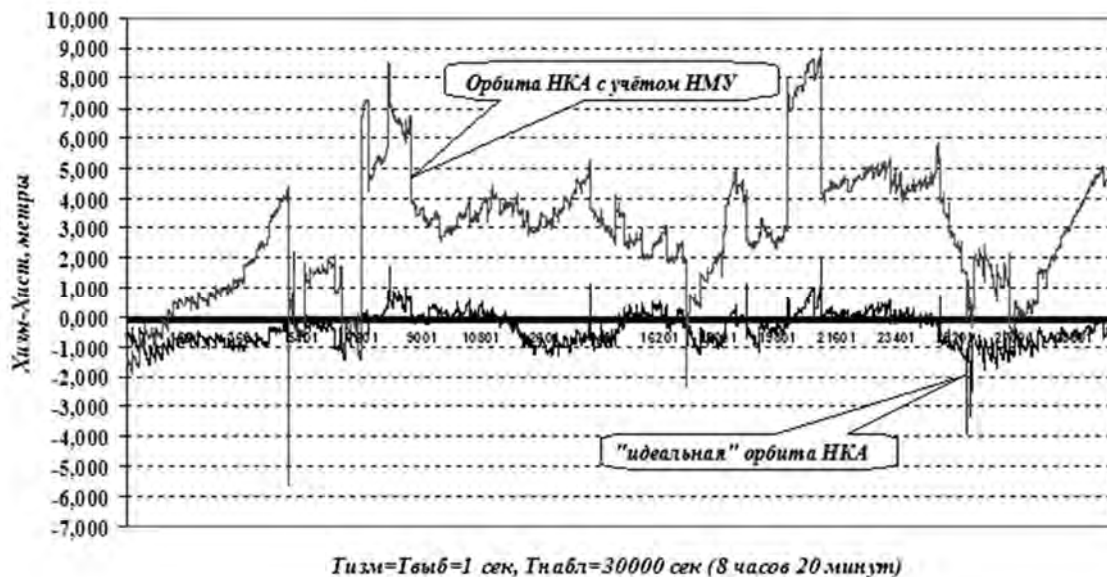


Рис. 2. Погрешности определения координаты  $X$  при «идеальной» и «возмущенной» орбитах НКА

Требование повышения точности навигации обуславливает необходимость совершенствования теоретического и программно-методического обеспечения функционирования системы ГЛОНАСС.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проблема движения НКА и устойчивости траектории движения сводится к решению ряда физико-механических задач.

Движению тел в поле сил тяготения посвящено большое количество работ. Фундаментальные законы и теоремы механики позволяют описать движение КА на различных орбитах вокруг Земли с высокой точностью [3]. Учет гравитационного влияния, кроме Земли, других космических объектов (Луны, искусственных спутников Земли и т.д.) может быть произведен с необходимой степенью точности, но не позволяет объяснить наблюдаемые небольшие изменения орбиты КА. В качестве возмущающих орбиту КА сил следует рассматривать силы негравитационного происхождения. К числу таких сил относятся электромагнитные силы.

Магнитное поле Земли (МПЗ) характеризуется вектором напряженности  $\mathbf{H}$  и выражается в эрстедах (Э), гаммах ( $\gamma$ ,  $1 \gamma = 10^{-5}$  Э) или в системе СИ – ампер на метр (А/м,  $1 \text{ Э} = 79,5775 \text{ А/м}$ ). Проекции вектора  $\mathbf{H}$  образуют составляющие геомагнитного поля:  $z$  – вертикальную,  $x$  – северную,  $y$  – восточную. Постоянное МПЗ достаточно хорошо изучено и соответствует полю однородной намагниченной сферы с координатами полюсов: северного (в Южном полушарии)  $\varphi = 71,2^\circ$ ,  $\lambda = 150,8^\circ$  и южного (в Северном полушарии)  $\varphi = 70,5^\circ$ ,  $\lambda = 264^\circ$ . Линия, соединяющая магнитные полюса, наклонена относительно географической оси на  $11,5^\circ$  и смещена от центра Земли на 1140 км в сторону Тихого океана. Напряженность магнитного поля на магнитном полюсе 0,65 Э, напряженность магнитного поля на магнит-

ном экваторе 0,35 Э. Градиенты вертикальной  $\frac{dz}{dh}$  и горизонтальной  $\frac{dz}{d\varphi}$  составляющих магнитного поля по высоте  $h$  и широте  $\varphi$  на широте Санкт-Петербурга равны:

$$\frac{dH_z}{dh} = -23,5 \gamma / \text{км}; \quad \frac{dH_z}{d\varphi} = 250 \gamma / \text{град} = 2,5 \gamma / \text{км};$$

$$\frac{\partial H_{\text{гор}}}{\partial h} = -7,5 \gamma / \text{км}; \quad \frac{\partial H_{\text{гор}}}{\partial \varphi} = -400 \gamma / \text{град} = \gamma / \text{км}.$$

Магнитный момент земного шара равен  $8,3 \cdot 10^{26}$  ед. СГСМ. Магнитные бури и общая магнитная активность вызываются взаимодействием излучения Солнца с постоянным МПЗ. Магнитные бури – резкие колебания МПЗ неправильной формы – начинаются одновременно во всем околоземном пространстве и имеют тенденцию к повторению через 27 суток.

Доказано, что в отсутствии вещества плотность силы Лоренца может быть приведена к виду [4–7]:

$$f = -\frac{\partial g}{\partial t} = \text{div } \hat{T}.$$

Здесь  $g$  – плотность импульса электромагнитного поля [4];

$\hat{T}$  – тензор натяжений Максвелла, имеющий компоненты

$$T^{ik} = \frac{1}{4\pi} \left[ E^i E^k + B^i B^k - \frac{1}{2} (E^2 + B^2) \delta^{ik} \right],$$

где  $\delta^{ik}$  – символ Кронекера, при этом

$$\delta^{ik} = \begin{cases} 1, & \text{при } i = j, \\ 0, & \text{при } i \neq j. \end{cases}$$

Энергия контура с током (например, контур силовых цепей системы электроснабжения КА) равна

$$W_m = -\mathbf{P}_m \cdot \mathbf{B},$$

где  $\mathbf{P}_m$  – магнитный момент контура с током;

$\mathbf{B}$  – вектор магнитной индукции,  $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$ .

В силу этого на контур с током в неоднородном МПЗ действует момент силы, ориентирующий КА по полю и определяемый как

$$\mathbf{M} = \mathbf{P}_m \times \mathbf{B}.$$

Тогда главный вектор сил, приложенных к центру масс КА (к центру рассматриваемого контура), определяется выражением

$$\mathbf{F} = -\text{grad } W_m = \text{grad } \mathbf{P}_m \cdot \mathbf{B}$$

или

$$\mathbf{F} = \nabla(\mathbf{P}_m \cdot \mathbf{B}) = \left( \frac{\partial}{\partial x} \cdot \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \mathbf{k} \right) \cdot (p_{mx} \cdot H_x + p_{my} \cdot H_y + p_{mz} \cdot H_z).$$

Таким образом, наличие градиента МПЗ приводит к появлению дополнительной силы  $\mathbf{F}$ , некоторому смещению центра масс от расчетной орбиты и повороту КА относительно центра масс.

Здесь необходимо иметь в виду, что дополнительной причиной возможного *локального* возрастания градиента внешнего по отношению к КА магнитного поля является взаимодействие потоков заряженных частиц вследствие солнечной активности между собой (вблизи КА) и с МПЗ (рис. 3).

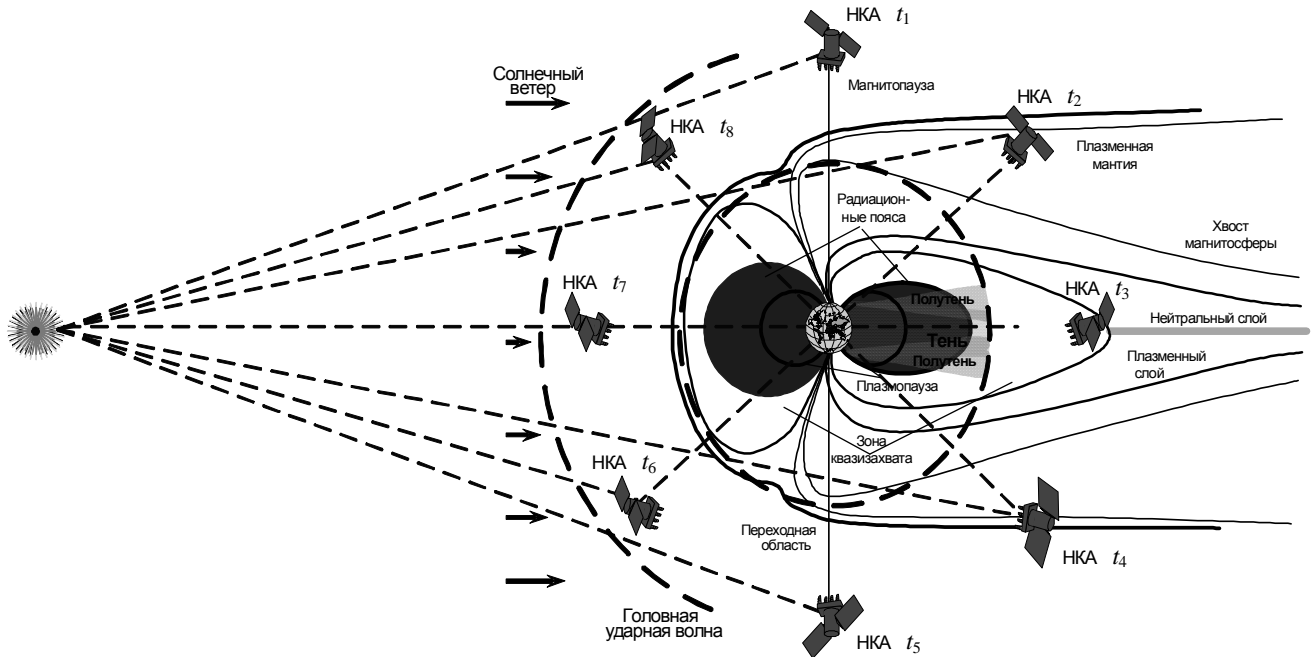


Рис. 3. Возрастания градиента внешнего по отношению к КА магнитного поля Земли

Действие момента сил описывается системой динамических уравнений Эйлера в следующем виде:

$$\begin{cases} I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y) \omega_y \omega_z = M_x^{(e)}; \\ I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z) \omega_z \omega_x = M_y^{(e)}; \\ I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x) \omega_x \omega_y = M_z^{(e)}; \end{cases}$$

где  $I_x, I_y, I_z$  – моменты инерции в системе главных осей инерции;  
 $M_x^{(e)}, M_y^{(e)}, M_z^{(e)}$  – проекции возмущающего («немоделируемого») момента  $M^{(e)}$ , порожденного действием исследуемой силы  $F$ .

Данная система уравнений представлена в проекциях на подвижные оси координат. К этим динамическим уравнениям Эйлера следует присоединить кинематические уравнения Эйлера:

$$\omega_x = \dot{\psi} \sin \theta \sin \varphi + \dot{\theta} \cos \varphi; \quad \omega_y = \dot{\psi} \sin \theta \cos \varphi - \dot{\theta} \sin \varphi; \quad \omega_z = \dot{\psi} \cos \theta + \dot{\varphi},$$

которые выражают проекции вектора угловой скорости вращения тела на подвижные оси координат, скрепленные с телом через углы Эйлера  $\psi, \theta, \varphi$  и их производные по времени.

При движении по орбите угловое положение КА определяется следующими углами (рис. 4):

- рыскания;
- крена;
- тангажа.

Ориентируя контур с током на борту КА в пространстве, вообще говоря, можно управлять траекторией КА в необходимых пределах.

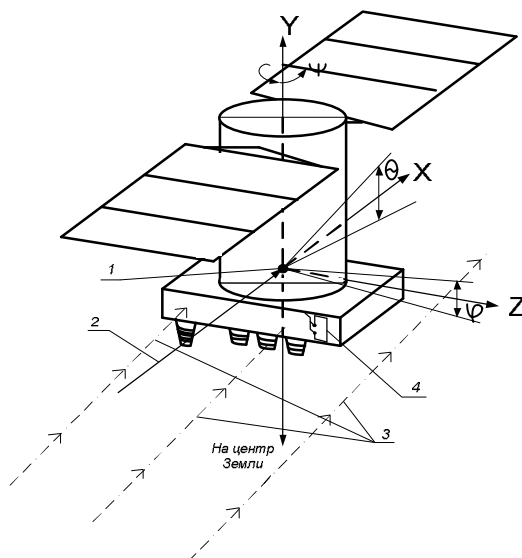


Рис. 4. Углы, определяющие ориентацию КА в пространстве:

1 – центр масс КА; 2 – орбита КА; 3 – линии напряжённости МПЗ; 4 – токовый контур

Таким образом, существует теоретическая гипотеза возникновения малых сил при взаимодействии токовых контуров бортовых систем электроснабжения с внешним неоднородным магнитным полем. Для подтверждения данной гипотезы необходимо создать математические модели неоднородного МПЗ, суммарного токового контура КА и их взаимодействия в условиях летной эксплуатации НКА.

#### Список используемых источников

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
2. Федотов В.Н., Царёв В.М. Оценка зависимости погрешностей решения навигационно-временной задачи аппаратурой потребителей спутниковых систем от точности прогноза положения навигационного космического аппарата на орбите при использовании имитаторов сигналов // Новости навигации. – 2004. – № 3.
3. ГОСТ 25645.127-85. Магнитосфера Земли. Модель магнитного поля магнитосферных токов. – [www.electronniy\\_fond.ru](http://www.electronniy_fond.ru).
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – Изд. 4-е, стереотипное. – М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2004.
5. Савельев И.В. Курс физики. – М.: Наука, 1989. – Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика.
6. Парселл Э. Берклевский курс физики. – М.: Наука, 1975. – Т. 2: Электричество и магнетизм.
7. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1990.

К.Ю. Цветков,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
А.Ф. Акмолов,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
С.Н. Ефимов,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
Е.А. Викторov,  
*кандидат техн. наук;*  
А.С. Веремчук

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАЗНОВЫСОТНОЙ МНОГОСПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С МОБИЛЬНЫМИ АБОНЕНТАМИ: АЛГОРИТМ РАСШИРЯЮЩЕГОСЯ ПОИСКА МОБИЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ**

В статье рассмотрены вопросы организации децентрализованного алгоритма расширяющегося поиска мобильных абонентов разнорысотной многоспутниковой системы связи, обеспечивающей глобальное и непрерывное покрытие земной поверхности. Показано, что уровень затрат пропускной способности каналов разнорысотной многоспутниковой системы связи при реализации предложенного алгоритма поиска абонентов не оказывает существенного влияния на эффективность использования пропускной способности системы в целом.

Ключевые слова: шлюзовая станция, мобильный терминал, спутник-ретранслятор, прямо-передающий комплекс, вынесенный пул одноканальной станции, разнорысотная многоспутниковая система связи.

Необходимость предоставления широкого класса услуг подвижным абонентам, абонентам в малонаселенных и труднодоступных районах, районах Крайнего Севера и приполярных областей, а также совершенствование конструкции и технологии производства бортовых радиотехнических комплексов в совокупности с применением новых информационных технологий значительно повысили интерес к созданию многоспутниковых систем связи (МСС), основанных на размещении космических аппаратов на низких и средних орбитах. Переход на низкие и средние орбиты позволяет не только решить проблему перегруженности геостационарной орбиты, но и существенно расширить сферу телекоммуникационных услуг, обеспечив пользователей глобальной персональной связью с использованием носимого терминала типа телефонной трубки [1].

Особенностью МСС на низких и средних орбитах является малое время нахождения космического аппарата (КА) связи в зоне радиовидимости мобильного абонента, которое обычно не превышает нескольких десятков минут, что влечет за собой неоднократный переход наземных абонентов с одного КА на следующий за ним. Для обеспечения непрерывной связи между абонентами, когда мобильные терминалы (МТ) вызывающего и вызываемого абонентов могут находиться в зонах покрытия разных КА связи, необходимо создание такой орбитальной группировки, при которой достигается непрерывность зоны радиовидимости для всех КА МСС. Кроме того, чтобы обеспечить возможность трансляции пакетов запроса на установление соединения в зонах покрытия других КА системы связи в МСС необходимо наличие межспутниковых радиолиний между КА либо фидерных радиолиний между КА и шлюзовыми станциями. В последнем случае шлюзовые станции выполняют также функции средств сопряжения с наземными сетями связи общего пользования [2, 3].

Одним из перспективных направлений построения орбитальной группировки (ОГ) МСС с мобильными абонентами является комбинированное использование спутников-ретрансляторов на разных орбитах. При этом основным предназначением разнорысотной многоспутниковой системы связи РМСС является обеспечение непрерывного и глобального

обмена всеми видами информации между мобильными абонентами РМСС – как между собой, так и с абонентами других существующих сетей: стационарных и мобильных сетей связи, использующих различные телекоммуникационные технологии.

Создание РМСС с комбинированной структурой построения ОГ КА связи позволяет сочетать преимущества различных типовых вариантов построения систем спутниковой связи и за счёт этого компенсировать их отдельные слабые стороны [4]. При этом одними из основных базовых принципов построения РМСС, схема организации связи в которой представлена на рис. 1, являются:

- баллистическое построение на основе разновысотных спутниковых кластеров первого и второго уровня [в состав космического сегмента РМСС входят 24 КА на низких и восемь КА на средних околополярных круговых орбитах, причем в зоне покрытия КА второго уровня (КА-2) постоянно находятся три КА первого уровня (КА-1)];
- использование широковещательного режима передачи пакетов в канале управления зоны покрытия каждого КА РМСС, который может быть реализован на основе алгоритма последовательного расширяющегося поиска мобильного абонента (варианты № 1, 2 и 3 на рис. 1).

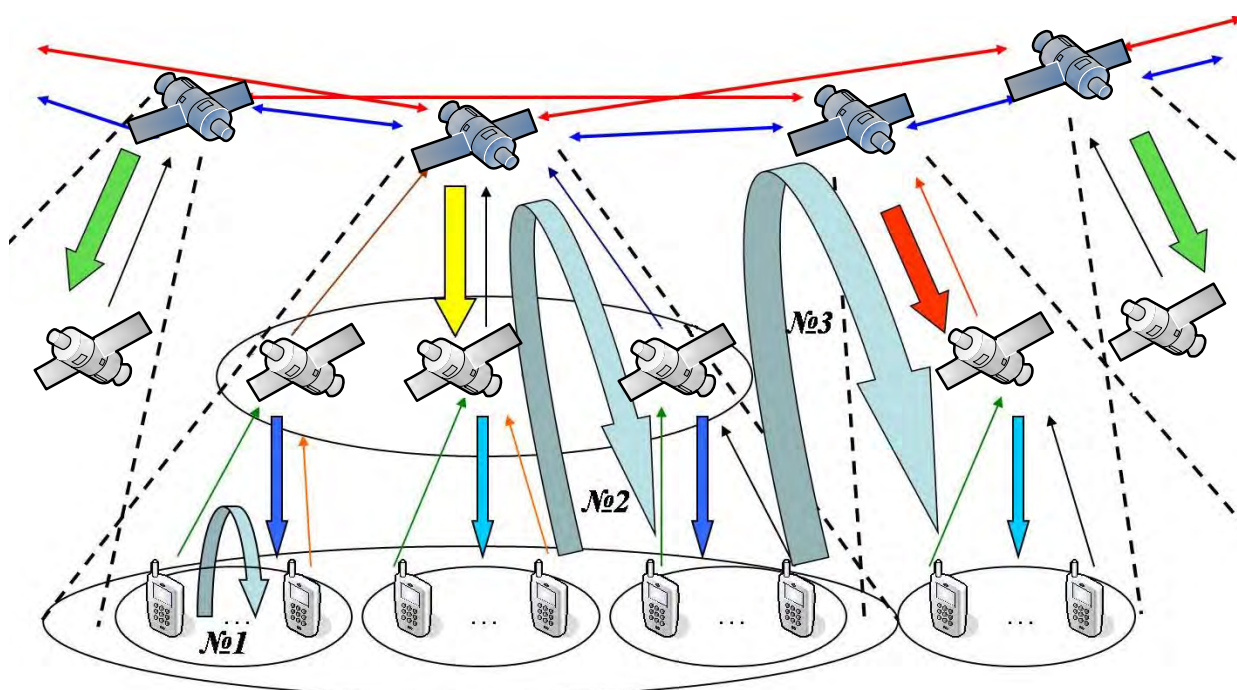


Рис. 1. Схема организации связи в РМСС

В предлагаемом алгоритме используются широковещательные возможности кластеров КА-1 и КА-2 в пределах своих зон покрытия и учитывается наличие межспутниковых радиолиний между КА-2, обеспечивающих возможность трансляции пакетов запроса в остальных кластерах РМСС.

Реализация алгоритма поиска абонента в РМСС в глобальном пространстве осуществляется с использованием канала управления, организуемого на выделенных частотах для передачи пакетов запроса поиска абонента в зонах покрытия кластеров КА-1 и КА-2. Данный канал может быть организован на основе протокола случайного множественного доступа типа P-ALOHA применительно к случаю коммутируемого спутникового моноканала [5], который в отличие от традиционной однолучевой схемы обеспечивает такую же степень использования пропускной способности каналов связи, что и протокол S-ALOHA, но в отличие от последней не требует синхронизации при передаче пакетов во временных окнах.

Последовательность поиска вызываемого абонента в РМСС предполагает реализацию следующего алгоритма.

1. Пакет запроса на организацию сеанса обмена в пределах зоны покрытия кластера КА-1 передается в канале управления с получением автоматической квитанции по обратному каналу связи в пределах пятна покрытия. В случае неудачной попытки, обусловленной искажением пакета, конфликтом пакетов или блокировкой пакета в коммутируемом моноканале кластера КА-1 данный пакет через случайный временной интервал передается повторно. Такая процедура осуществляется до успешной передачи пакета запроса в пятне покрытия кластера КА-1.

2. Если вызываемый абонент находится в зоне покрытия кластера КА-1, то его МТ осуществляет прием пакета запроса с использованием процедуры селекции по своему адресу. При этом осуществляется автоматическая передача пакета ответа. Передача пакета ответа осуществляется аналогичным образом в канале управления кластера КА-1 в соответствии с протоколом Р-АЛОHA.

3. При приеме пакета ответа до истечения времени таймера ожидания вызывающий МТ определяет наличие требуемого абонента в зоне кластера КА-1 и формирует запрос на установление сеанса связи требуемого вида (рис. 1, вариант № 1). Соответствующий вариант связи представлен на рис. 2.

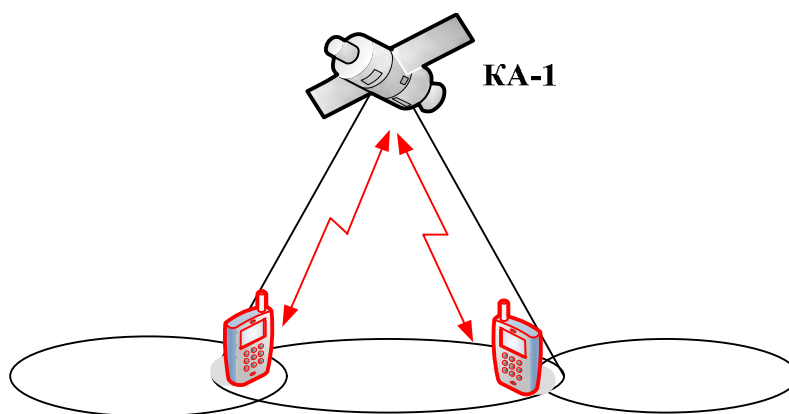


Рис. 2. Вариант связи между мобильными абонентами в режиме прямой ретрансляции сигналов в кластере КА-1 РМСС

4. При отсутствии вызываемого абонента в зоне кластера КА-1 таймер ожидания МТ вызывающего абонента превысит установленный порог. При этом будет сформирован пакет запроса с признаком поиска абонента в кластере КА-2. Данный пакет демодулируется на борту КА-1, фиксируется в списке и поступает в очередь для передачи в канале управления кластера КА-2. Далее реализуется описанный выше алгоритм передачи пакета запроса КА-1 в кластере КА-2.

5. Пакет запроса ретранслируется КА-2 в зоне покрытия. Этот пакет принимают соответствующие КА-1 и ретранслируют его каждый в своей зоне покрытия. При наличии вызываемого абонента в зоне одного из кластеров КА-1 его МТ селектирует пакет запроса по адресу вызываемого абонента и автоматически формирует ответный пакет, который передается в канале управления кластером КА-1. Данный пакет ответа ретранслируется в канале управления кластером КА-2, который фиксирует факт наличия вызываемого абонента в своей зоне обслуживания (рис. 1, вариант № 2). Вариант связи в пределах одного кластера КА-2 представлен на рис. 3.

Отметим также, что в зоне покрытия КА-2 может присутствовать шлюзовая станция (ШС), выполняющая функции сопряжения РМСС с наземными сетями общего пользования. ШС так же, как и КА-1 примет ретранслируемый пакет запроса от КА-2 и ретранслирует его либо через очередной КА-2, либо, используя вынесенный пул одноканальных станций, через

КА-1. При этом могут быть реализованы составные проводные и спутниковые каналы связи, проходящие через ШС к абонентам РМСС либо к абонентам наземных цифровых сетей связи общего пользования.

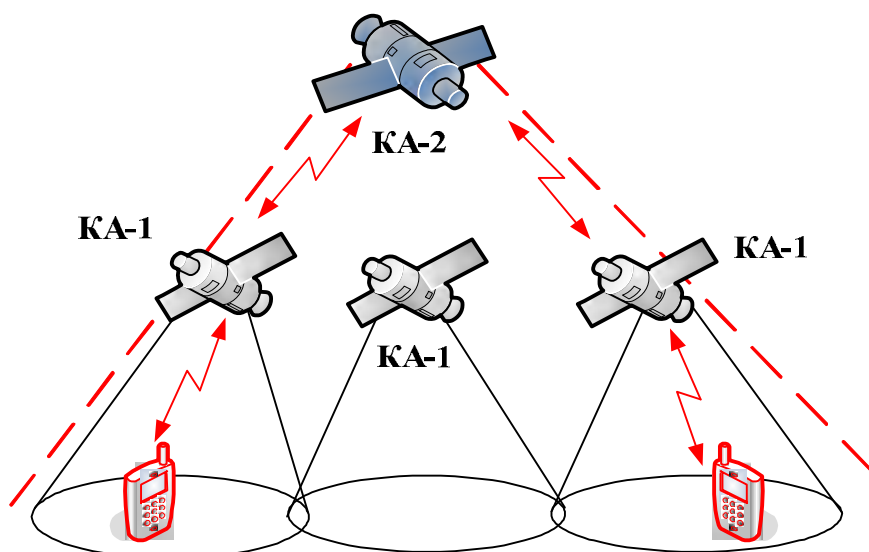


Рис. 3. Вариант связи между мобильными абонентами в пределах одного кластера КА-2 РМСС

При отсутствии вызываемого абонента в зоне кластера КА-1 в РМСС могут быть организованы следующие составные каналы связи:

– между мобильными абонентами, находящимися в пределах одного кластера КА-2, с использованием КА-1, вынесенных пулов одноканальных станций и ШС (рис. 4). В этом случае пакет запроса, ретранслированный в кластере КА-1, может быть принят вынесенным пулом и через высокоскоростные волоконно-оптические линии связи передан на ШС. В дальнейшем ШС также через волоконно-оптические линии связи обеспечит передачу пакета запроса на вынесенные пулы, находящиеся в кластерах других КА-1, для дальнейшей ретрансляции в кластере КА-1 вызываемого абонента;

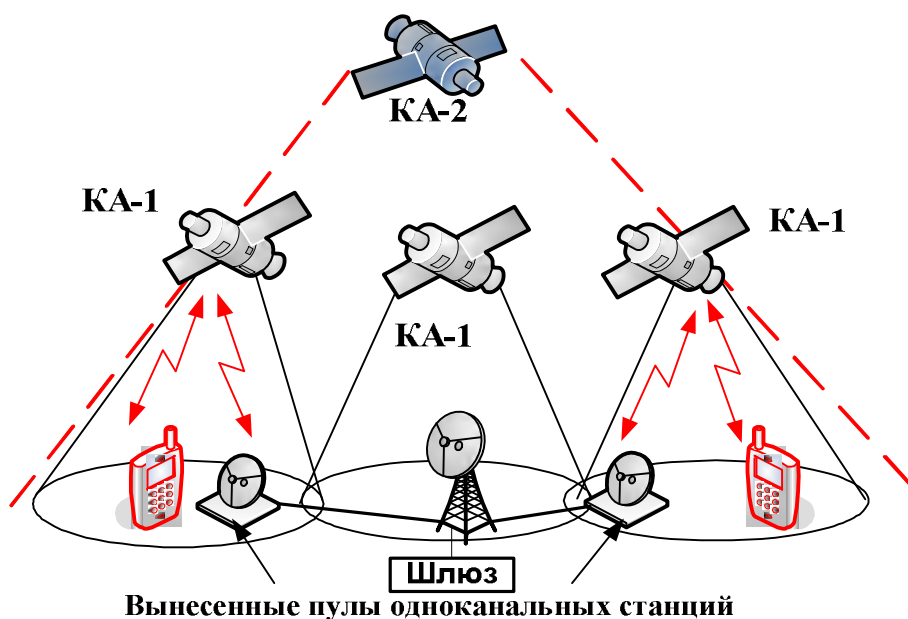


Рис. 4. Вариант связи между мобильными абонентами в пределах одного кластера КА-2 РМСС с использованием вынесенных пулов одноканальных станций и шлюзовой станции

– между мобильными абонентами, находящимися в кластерах разных КА-2, через КА-1 и ШС (рис. 5). Ретранслированный в кластере КА-2 пакет запроса может быть принят ШС, подключенной через шлюз к наземным сетям общего пользования. Наземные сети обеспечивают передачу пакета запроса на остальные ШС РМСС для дальнейшей ретрансляции через кластеры других КА-2 к мобильным абонентам системы связи;

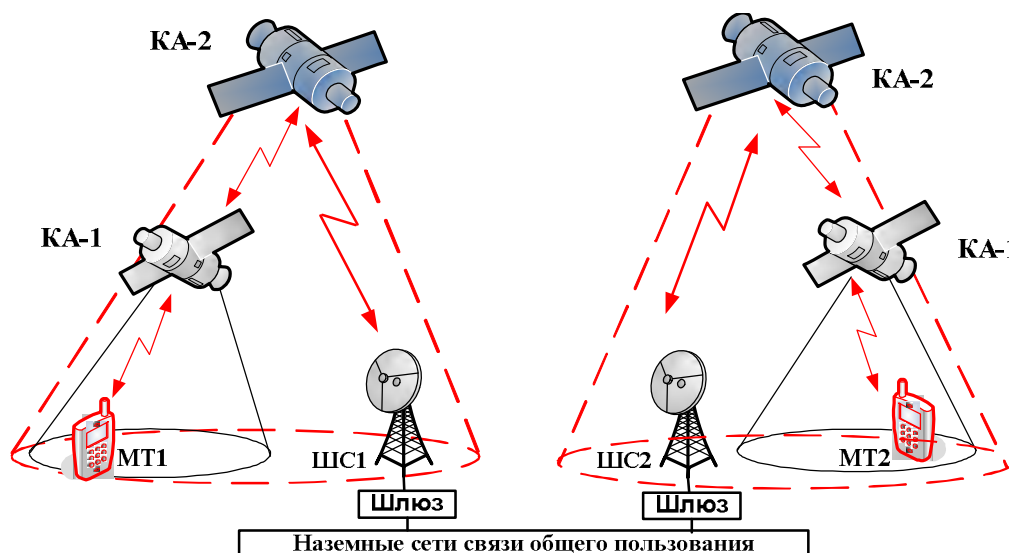


Рис. 5. Вариант организации каналов связи между абонентами РМСС через шлюзовые станции в разных кластерах КА-2

– между мобильными абонентами, находящимися в кластерах разных КА-2, через КА-1, вынесенные пулы одноканальных станций и ШС (рис. 6). Данный вариант является комбинацией двух рассмотренных выше вариантов организации составных каналов. Пакет запроса, ретранслированный в кластере КА-1, может быть принят вынесенным пулом и через высокоскоростные волоконно-оптические линии связи передан на ШС, подключенную через шлюз к наземным сетям общего пользования. Наземные сети обеспечивают передачу пакета запроса на остальные ШС РМСС. ШС через волоконно-оптические линии связи передает пакет запроса на свои вынесенные пулы для дальнейшей ретрансляции в кластере КА-1 вызываемого абонента.

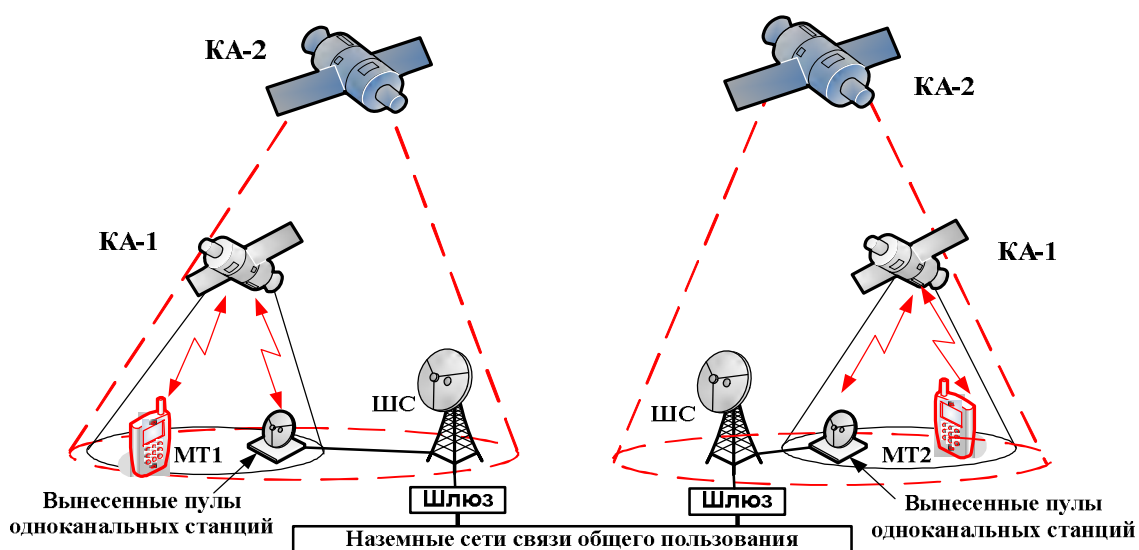


Рис. 6. Вариант организации каналов связи между абонентами РМСС через вынесенные пулы одноканальных станций в разных кластерах КА-2

Выбор оптимального кратчайшего маршрута прохождения пакетов запроса на установление соединения от мобильного терминала абонента и организации каналов связи между мобильными абонентами, находящимися в кластерах разных КА-2, по составным спутниковым и наземным каналам связи требует решения дополнительной задачи маршрутизации трафика в РМСС.

6. При отсутствии вызываемого абонента в зоне кластера КА-2 его таймер ожидания ответа превысит установленный порог. КА-2, используя межспутниковые радиолинии, транслирует пакет по кольцу из кластеров КА-2 с использованием сети коммутации пакетов управления связью.

7. Пакет запроса ретранслируется в каждом кластере КА-2 в зоне покрытия. Механизм передачи пакета запроса в пределах каждого кластера реализуется аналогичным образом, как описано выше в пунктах 5 и 6.

С учетом суммарной глобальной зоны покрытия поверхности Земли всеми кластерами КА-2 вызываемый абонент будет найден самой сетью в одном из этих кластеров в зоне покрытия кластера КА-1 (см. рис. 1, вариант № 3). Вариант связи для удаленных абонентов, находящихся в зонах покрытия разных кластеров КА-2, представлен на рис. 7.

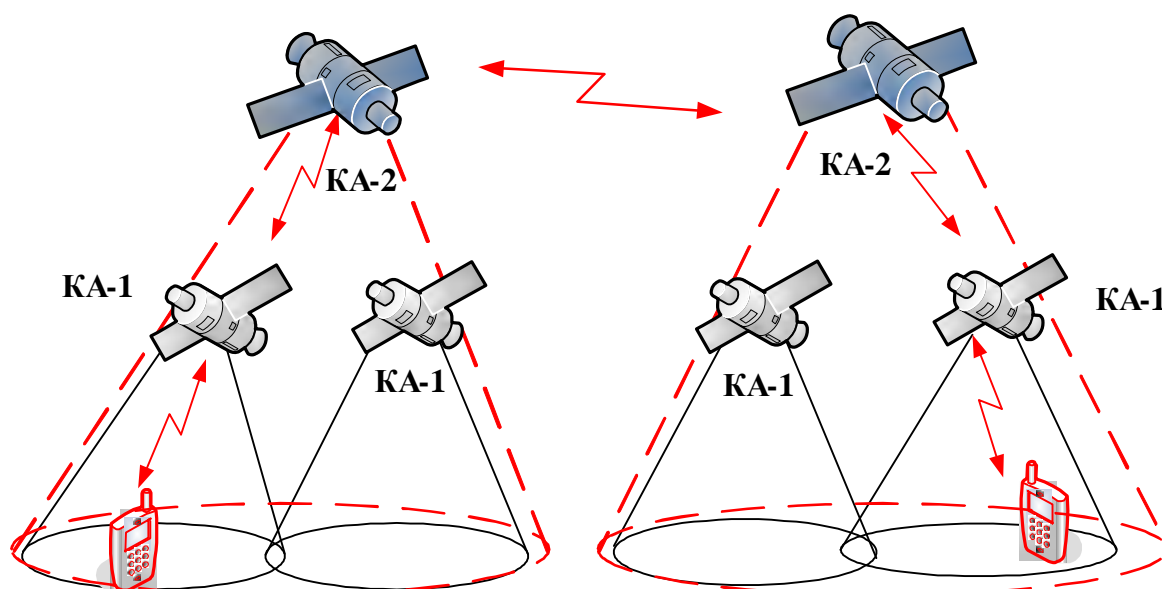


Рис. 7. Вариант связи в пределах разных кластеров КА-2 РМСС с использованием межспутниковых радиолиний между КА-2

Обобщенный вид алгоритма расширяющегося поиска мобильных абонентов, раскрывающего три рассмотренных выше варианта поиска, представлен на рис. 8.

Примем допущение о том, что до 80 % соединений организуется в пределах одного кластера КА-1. Для организации связи в случае отсутствия повторных передач пакетов запроса и ответа затраты системы будут минимальны – два пакета на канал в режиме прямой ретрансляции сигналов.

В случае нахождения трех КА-1 в зоне кластера КА-2 число пакетов возрастет до десяти на одно соединение в пределах зоны кластера КА-2. Можно ожидать, что соединений такого типа будет порядка 15 %. При этом среднее число пакетов на одно соединение при поиске абонента в кластере КА-2 составляет не многим более трех пакетов. Число пакетов для передачи во всех зонах покрытия кластеров КА-2 с учетом трансляции пакетов по кольцу достигает 100 штук, что соответствует лишь 5 % случаев телефонных соединений. При этом среднее число пакетов для проведения сеанса телефонной связи с учетом указанного тяготения абонентов в пересчете на одно соединение составляет около восьми пакетов. С учетом этих результатов можно утверждать, что предварительное знание последнего местонахождения

мобильного абонента позволят существенно сократить объем передаваемой поисковой информации только в случае необходимости проведения глобального поиска абонента во всей сети, так как в этом случае в сеть вводится сразу около 100 пакетов.

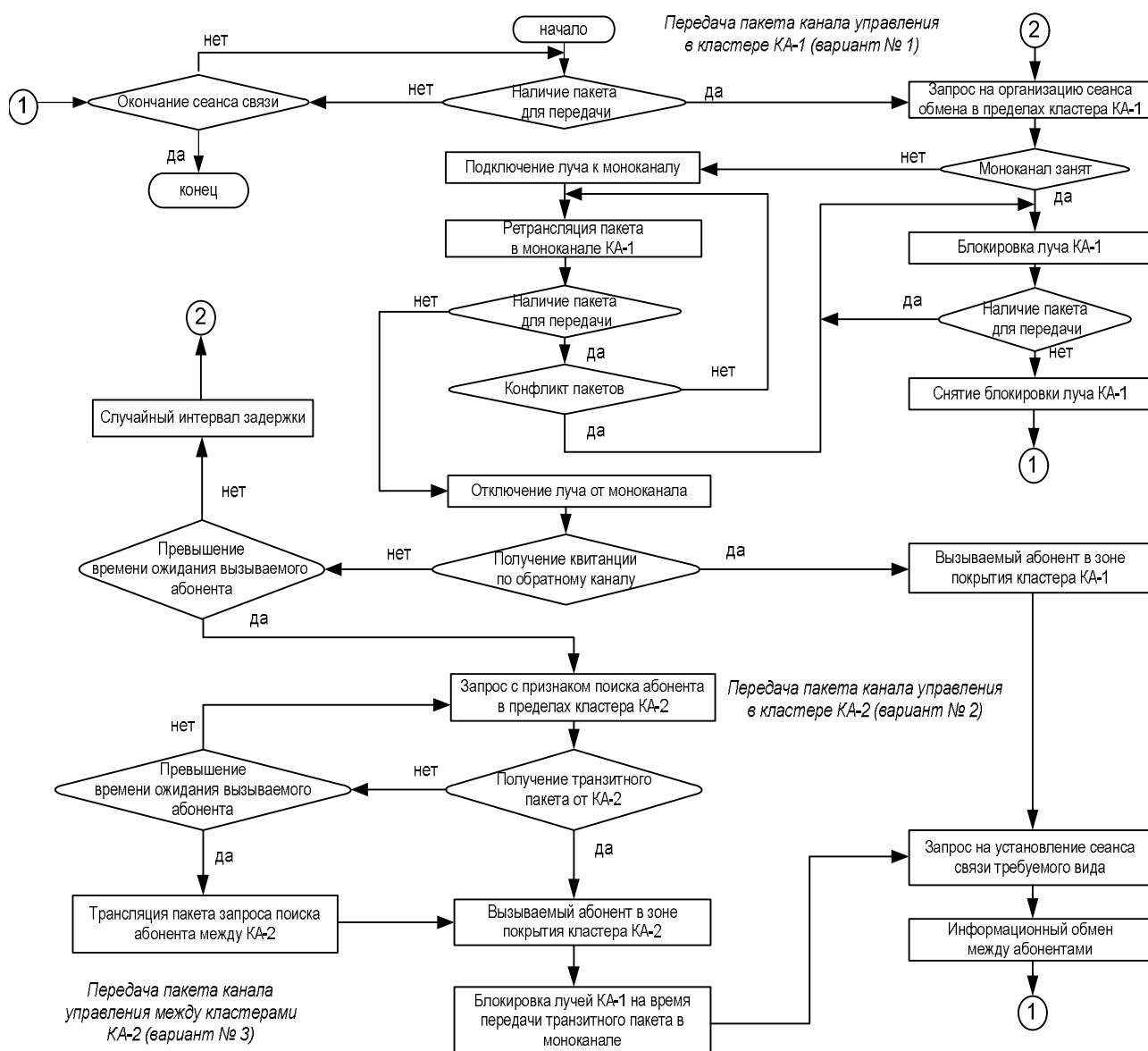


Рис. 8. Алгоритм расширяющегося поиска мобильных абонентов РМСС

При объеме пакета в 500 бит этот объем служебной информации по глобальному поиску абонента в сети будет соответствовать примерно десяти секундам речевого трафика при скорости передачи в телефонном канале 4,8 кбит/с. С учетом того, что средняя длительность телефонных переговоров в сетях общего пользования составляет три минуты, затраты на третий этап глобального поиска абонента в сети по всем восьми кластерам КА-2 не превышают 10/180, т.е. составляют около 5 % от объема речевого трафика одного телефонного канала. При усреднении этого объема по всем трем этапам поиска, что соответствует восьми пакетам на одно соединение, общее увеличение объема поисковой нагрузки составляет примерно 0,6 % от объема речевого трафика одного телефонного канала.

Указанный уровень затрат пропускной способности каналов РМСС не оказывает существенного влияния на эффективность использования пропускной способности системы в це-

лом, что позволяет его рекомендовать для практического использования при установлении телефонных соединений.

Кроме того, достоинством предлагаемого подхода является его децентрализованность, что с учетом возможного применения РМСС как системы двойного назначения является важным фактором, обеспечивающим успешное функционирование системы связи в особые периоды военно-политической обстановки.

### Список используемых источников

1. *Невдяев Л.М., Смирнов А.А.* Персональная спутниковая связь. – М.: ТЭК, 1998. – 216 с.
2. *Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В.* Спутниковые сети связи: учеб. пособие. – М.: изд-во «Альбина Паблишер», 2004. – 536 с.
3. *Аболищ А.И.* Системы спутниковой связи. Основы структурно-параметрической теории и эффективность. – М.: ИТИС, 2004. – 426 с.
4. Концепция построения разнорысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами / Г.Н. Мальцев, К.Ю. Цветков, А.В. Родионов, А.Ф. Акмоллов, С.Н. Ефимов, Д.В. Косаревищ, Е.А. Викторов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – Вып. 630. – С. 5–10.
5. *Цветков К.Ю., Акмоллов А.Ф., Викторов Е.А.* Модель канала управления передачей смешанного трафика речи и данных в разнорысотной системе спутниковой связи // Информационно-управляющие системы. – 2012. – №3. – С. 63–70.

С.Ю. Капицын,  
кандидат техн. наук;  
М.А. Крамар;  
А.В. Луковкин;  
Н.В. Шестирублева

## МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО СОСТАВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПОРТРЕТА

Изложен анализ существующих методик, и предложен подход к оперативному построению первичного психологического портрета личности на основе автоматизированной обработки физиогномических признаков.

Ключевые слова: психологический портрет, физиогномические признаки, оперативность

### ВВЕДЕНИЕ

*Физиогномика* – целостная система знаний, в которой все черты лица тесно взаимосвязаны с особенностями жизнедеятельности и характерными поведенческими реакциями. Предметом физиогномики является визуальная психодиагностика личностных особенностей на основе оценки внешнего облика и в первую очередь – лица человека (визуальная – с помощью глаз; психодиагностика – область психологии, разрабатывающая методы выявления и измерения индивидуально-психологических особенностей личности) [1]. *Физиогномика* – определение характера по лицу, самая древняя ветвь человековедения, ее родиной считается Китай. В Китае искусство «сян миэн» имело и имеет большое прикладное значение [5]. Знание азов физиогномики поможет оперативно и уверенно ориентироваться в многообразии человеческих взаимоотношений, эффективно решать задачи рефлексивного управления объектами и др.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Рост источников фотографической информации порождает массивы доступных сведений об объектах, представляющих интерес для аналитических органов. В настоящее время оперативность является одним из приоритетных требований к информационно-аналитической деятельности, а отсутствие автоматизированных систем идентификации психологических характеристик исследуемого объекта требует значительных временных затрат на естественную интеллектуальную обработку физиогномических данных. Вопросы повышения оперативности обработки персональных сведений об объектах для выявления психологических особенностей личности в интересах решения информационно-аналитических задач являются в высшей степени актуальными.

### АНАЛИЗ

В психологии существуют методики, позволяющие оперативно составлять психологический портрет человека. Они применяются как самостоятельно, так и комплексно, открыто и скрыто, различными службами в интересах повышения эффективности своей деятельности. Однако на современном этапе степень их автоматизации низка. Это обусловлено трудоемкостью процесса сбора адекватных статистических данных, позволяющих с достаточной степенью полноты описывать психологические особенности личности.

Анализ особенностей существующих методик показал, что все они в самом общем виде объединяются в несколько групп:

- анализ особенностей вербального общения;
- анализ изучения одежды;
- оперативный графологический анализ;
- анализ черт лица (физиогномика).

В настоящее время процесс изучения и составления первичного портрета наглядно можно представить в виде операционно-временной модели, показанной на рис.1.

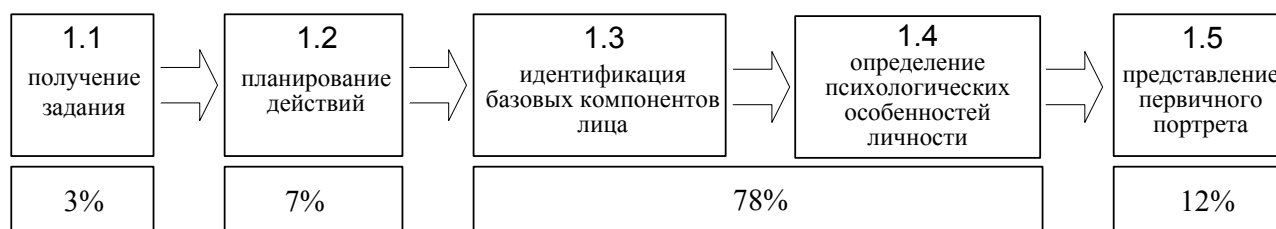


Рис. 1. Операционно-временная модель процесса изучения и составления первичного психологического портрета

Анализ этапов процесса изучения и составления первичного психологического портрета показал, что 2/3 оперативного времени приходится на этапы идентификации базовых компонентов лица и определения психологических особенностей объекта исследования.

В целях обеспечения требуемого уровня оперативности определения психологического портрета личности предложен подход к представлению знаний о базовых компонентах лица человека взаимосвязанными моделями словарей физиогномических признаков и статистических психологических характеристик личности, к разработке механизма интеллектуальной обработки специальных данных с возможностями автоматического составления целостного психологического портрета.

Система взаимосвязанных моделей словарей специализированных данных в табличной форме представлена на рис.2 на примере компонента лица – «брови».

Базовый компонент лица, $O_n$	Физиогномический признак, $X_i$		Статистическая психологическая характеристика, $Y_j$	
Брови	$X_1$	Широкие	$Y_1$	Прямота, честность, верность, смелость
	$X_2$	Тонкие	$Y_2$	Скромность, застенчивость, консерватизм
	$X_3$	Длинные	$Y_3$	Художественная одаренность, артистизм
	$X_4$	Короткие	$Y_4$	Робость, молчаливость, недоверчивость
	$X_5$	Кустистые	$Y_5$	Подозрительность, чрезмерное самолюбие
	$X_6$	Сросшиеся	$Y_6$	Упорство, настойчивость
	$X_7$	Высокие	$Y_7$	Дальновидность, скрытность, расчетливость

Рис. 2. Система взаимосвязанных моделей словарей специализированных данных в табличной форме

В качестве механизма интеллектуальной обработки специальных данных – интерпретации входных физиогномических признаков в совокупность выходных статистических психологических характеристик личности предлагается использовать автомат-интерпретатор, схема функционирования которого представлена на рис.3.

Функционирование интерпретатора удобно представить в терминах конфигурации автомата, которая включает в себя:

- состояние управляющего устройства;
- содержимое входной ленты с положением входной головки;

в) содержимое выходной ленты.

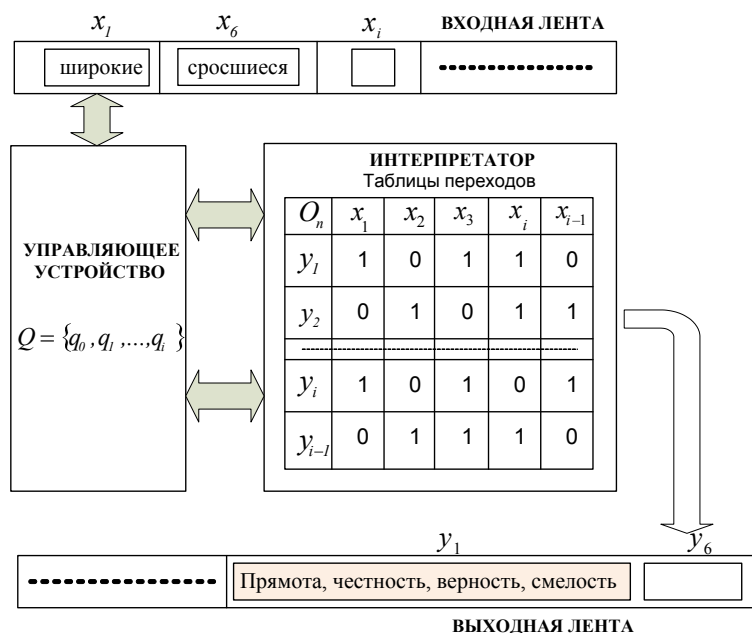


Рис. 3. Схема функционирования автомата-интерпретатора

Формальное представление автомата интерпретатора включает систему из пяти объектов:

$$M = \langle Q, X, Y, f, q_0 \rangle, \quad (1)$$

где  $Q$  — конечное множество состояний;  
 $X$  — алфавит входных данных;  
 $Y$  — алфавит выходных данных;  
 $f$  — функция переходов, при этом

$$f : (q_i, x_i) \rightarrow (q_j, y_j); \quad (2)$$

$q_0 \in Q$  — начальное состояние.

Методика оперативного составления первичного психологического портрета личности реализована в информационно-аналитической системе — базе знаний с использованием разработанных моделей и механизма их обработки (интерпретации). Система действий оператора включает следующие этапы:

1. Фотографирование (получение фотографических данных) лица объекта исследования (анфас, профиль).
2. Изучение индивидуальных особенностей частей лица.
3. Определение физиогномических признаков базовых частей лица.
4. Автоматическое выявление психологических особенностей объекта исследования.
5. Представление первичного психологического портрета в виде отчетно-информационного документа.

Следует отметить, что противоречия, существующие в результатах отчетов, работы аналитической системы обусловлены как несовершенством разработанной базы данных, так и противоречием в самой сущности идеи — часть физиогномических признаков заложена на генетическом уровне (форма и размер ушей, носа, глаз), часть формируется на протяжении всей жизни (морщины), это накладывает определенные ограничения на объект исследования — европеоидная раса, возраст старше 30 лет. Для лиц другой расы требуется создание кардинально другой базы данных в силу специфических физиогномических особенностей.

В качестве примера результата работы информационно-аналитической системы рассмотрим первичный психологический портрет Маршала Советского Союза Георгия Константиновича Жукова, представленный на рис.4.

### **Первичный психологический портрет Г.К.Жукова**

Выявленные психологические характеристики: ум, благородство, властолюбие, трудолюбие, бережливость, аккуратность, эгоистичность, последовательность, целеустремленность, беспринципность, хорошие генетические данные, высокий уровень интеллекта, рассудительность, мужественность, решительность, жесткость, справедливость, упорство, твердость, рассудительность, свободомыслие, непокорность, упрямство, лидерство, прямота, настойчивость, честность, добропорядочность, уравновешенность, высокомерие, неуживчивость, проницательность, талантливость, экстравертность, скрытность, искренность, справедливость, усидчивость, настойчивость, хитрость, общительность, авторитаризм, чрезмерное честолюбие, погруженность в себя (интровертность).



Рис. 4. Г.К. Жуков

Достоверность данного психологического портрета не требует подтверждения.

Апробация аналитической системы проводилась на выставке научно-технического творчества («НТТА–2013»), проходившей с 13 по 15 ноября 2013 года на базе Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург). Составлено 157 оперативных психологических портретов всех желающих, как участников, так и приглашенных на выставку. Результаты поразили – точность выявления психологических характеристик составила 83–94 %. Программный продукт был отмечен грамотой «За самый популярный экспонат на выставке НТТА–13».

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработанная методика оперативного составления психологического портрета, ее программная реализация позволяют осуществлять широкий спектр манипуляций с набором физиогномических признаков и выбором психологических характеристик, оперативно в течение 4–5 минут составлять первичный психологический портрет исследуемого объекта. Система может найти применение в качестве имитационно-моделирующего комплекса-тренажера для подготовки специалистов и формирования у них профессиональных навыков оперативного построения психологического портрета, а также для расширения возможностей перспективных аналитических ситуационных центров в интересах различных ведомств и структур.

### **Список используемых источников**

1. *Паришкова Л.П., Карлышев В.М., Шакурова З.А.* Физиогномика. – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 384 с.
2. *Равенский Н.С.* Как читать человека. Черты лица, жесты, поза мимика. – М.: РИПОЛ классик, 2007. – 416 с.
3. *Шапарь В.Б.* Язык тела и эмоций. Как читать чужие мысли и видеть, что думают другие. – Харьков, Белгород: изд-во «Клуб семейного досуга», 2010. – 384 с.
4. *Корсини Р.А., Ауэрбаха А.Э.* Психологическая энциклопедия. – М.: Питер, 2006.
5. *Тимоти Т.С.* Чтение лица, или китайское искусство физиогномики. – СПб.: об-во «Досуг», 1992. – 192 с.
6. *Франсис Томас* Секреты на лице. Наука физиогномика с иллюстрациями и объяснениями. – Харьков: Авангард, 1993.

С.А. Карин  
кандидат военных наук;  
В.В. Лобовко

## ПОСТРОЕНИЕ ПОТОКОВОГО СТЕГОДЕТЕКТОРА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФАЙЛАХ С ДАННЫМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В данной статье рассматриваются принципы построения потокового стегодетектора, который может анализировать большие объемы растровых данных в потоковом режиме и приведены результаты его работы. Предлагаемый авторами подход к решению задачи построения потокового стегодетектора основан на положениях теории нейронных сетей и стеганографических методах выявления скрытой информации.

Ключевые слова: стегодетектор, стеганография, растровые данные, нейрон, нейронные сети

### ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие информационных технологий и постоянный рост объемов передаваемой информации через вычислительные сети, развитие компьютерной сети общего пользования Internet делают крайне актуальной проблематику компьютерной стеганографии [1, 2].

*Стеганография* (от греч. *στεγανός* – скрытый и греч. *γράφω* – пишу, буквально «тайнопись») – это наука о скрытой передаче информации путём сохранения в тайне самого факта передачи. В отличие от криптографии, которая скрывает содержимое секретного сообщения, стеганография скрывает само его существование. Стеганографию обычно используют совместно с методами криптографии, таким образом дополняя её.

Стеганографирование осуществляется различными способами. Общей чертой таких способов является то, что скрываемое сообщение встраивается в некий не привлекающий внимание объект, который затем открыто транспортируется (пересылается) адресату.

*Цифровая стеганография* – направление классической стеганографии, основанное на сокрытии или внедрении дополнительной информации в цифровые объекты путем внесения небольших искажений в них. Но, как правило, данные объекты являются мультимедиа-объектами (изображения, видео, аудио, текстуры 3D-объектов), и внесение искажений, которые находятся ниже порога чувствительности среднестатистического человека, не приводит к заметным изменениям этих объектов [3]. Кроме того, в оцифрованных объектах, изначально имеющих аналоговую природу, всегда присутствует шум квантования. Далее при воспроизведении этих объектов появляются дополнительный аналоговый шум и нелинейные искажения аппаратуры. Все это способствует большей незаметности сокрытой информации.

Анализ тенденций развития цифровой стеганографии показывает, что в ближайшие годы интерес к развитию методов сокрытия и выявления информации будет усиливаться всё больше и больше. В частности, общеизвестно, что актуальность проблемы информационной безопасности постоянно растет и стимулирует поиск новых методов защиты информации (ЗИ). С другой стороны, бурное развитие информационных технологий обеспечивает возможность реализации этих новых методов ЗИ. И конечно, сильным катализатором этого процесса является лавинообразное развитие Internet, в том числе такие нерешенные противоречивые проблемы данной сети, как защита авторского права, защита прав на личную тайну, организация электронной торговли, противоправная деятельность хакеров, террористов и т.п.

В соответствии со всем вышеизложенным становится понятной актуальность проблемы создания программного обеспечения, предварительно выявляющего сам факт сокрытия информации (стегодетектора). В данной статье рассматриваются принципы построения потокового стегодетектора, который может анализировать большие объемы данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в потоковом режиме, и приведены результаты его работы.

### СОСТАВ РАЗРАБОТАННОГО СТЕГОДЕТЕКТОРА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИИ

Разработанный стегодетектор предназначен для анализа информационных потоков (в данной статье рассмотрен пример потока данных ДЗЗ) и состоит из следующих компонентов:

- 1) блок-обработчика – разбивает и преобразует проходящую через него информацию для передачи анализатору. Блок-обработчик служит для нивелирования специфики отдельных форматов и методов сокрытия информации для стандартизации анализа информационного потока на предмет ее сокрытия;
- 2) анализатора – аккумулирует полученные блоком-обработчиком данные и принимает решение о наличии или отсутствии стегосообщения.

Пусть у нас имеется текстовый поток, который передается для обработки и анализа стегодетектору и в котором может быть скрыта информация методом двойных пробелов между словами.

На каждом такте работы стегодетектора данные в виде двух байт сообщения подаются на вход блока-обработчика, который осуществляет преобразование (кодирование) символьного значения в логическое таким образом, что для переданного символа «пробел» – результат на выходе преобразователя «ИСТИНА», а для любого другого символа – «ЛОЖЬ». После преобразования данные поступают в сумматор, работающий как логический оператор «И». В результате данный обработчик выявляет подозрительные блоки – двойные пробелы.

После преобразования блок-обработчик передает информацию анализатору, роль которого выполняет нейросеть [4, 5]. На рис. 1 изображена схема данной нейросети, которая позволяет выявить факт наличия стегосообщения.

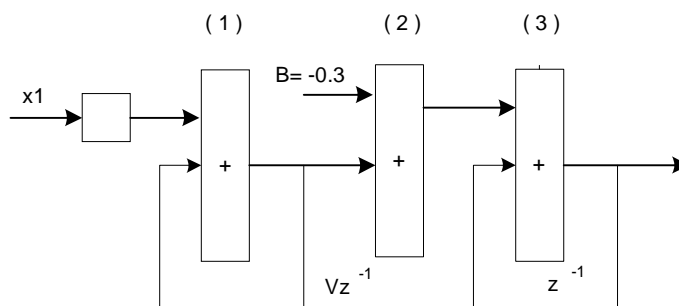


Рис. 1. Схема нейросети, позволяющей выявить факт наличия стегосообщения

Преимущество данного подхода заключается в том, что нейросеть может работать не с законченным (целым) контейнером, а с потоком данных. Такая нейросеть состоит из следующих компонентов:

- нейрон с обратной связью (1), который выявляет относительную частоту встречаемости символов;
- индикатор (2), который генерирует сигнал при превышении некоторого значения на выходе нейрона (1);
- счетчик срабатываний индикатора (3).

## ПРИНЦИП РАБОТЫ НЕЙРОСЕТИ, ВЫЯВЛЯЮЩЕЙ ФАКТ НАЛИЧИЯ СТЕГОСООБЩЕНИЯ

Опишем принцип работы этой сети.

После завершения начальных преобразований данные поступают из блока обработчика в анализатор и попадают в (1). Выход для (1) вычисляется по следующей формуле:

$$y = x_1 - V \bullet z^{-1}$$

где:  $x_1$  – выход из блока обработчика;

$z^{-1}$  – значение нейрона на предыдущем шаге;

$V$  – коэффициент затухания,  $V < 1$ .

Заметим, что если  $V \geq 1$ , то нейрон (1) будет являться счетчиком аномальных блоков в тексте, умноженным на некоторый коэффициент. При  $V < 1$  нейрон с обратной связью (1) будет рассчитывать отношение аномальных блоков текста ко всем блокам и вычислять итоговое соотношение с некоторым коэффициентом.

Таким образом, нейрон (1) характеризуется одним параметром – коэффициентом затухания. На представленном ниже графике (рис. 2) изображено поведение нейрона (1) для скрытого стегосообщения при коэффициентах затухания, имеющими значения 0,9 и 0,99.

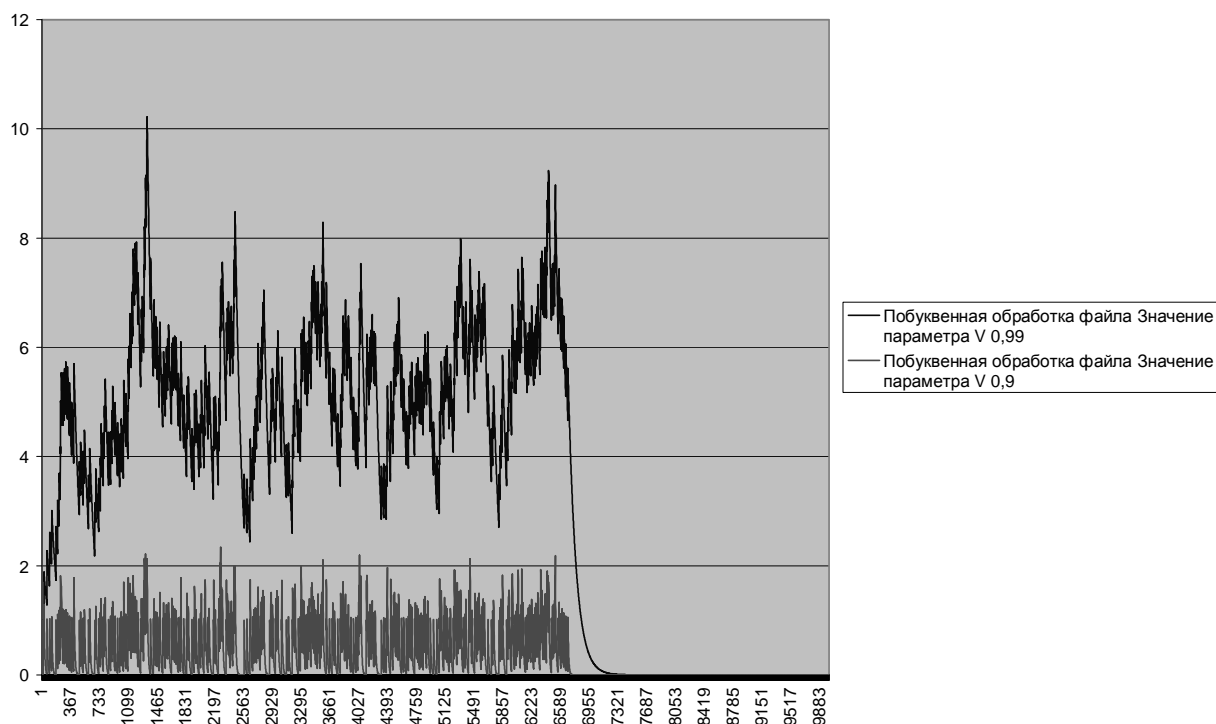


Рис. 2. Поведение нейрона с обратной связью при коэффициентах затухания со значениями 0,9 и 0,99

Как видно из рисунка, значение функции при наличии в контейнере стегосообщения проходит последовательно три стадии – стадию нарастания возбуждения, стадию стабилизации возбуждения и стадию спада возбуждения. Опишем каждую из стадий подробнее.

*Стадия нарастания возбуждения* выполняется при наличии стегосообщения и достаточно большом относительном количестве аномальных блоков. Нейрон (1) реагирует на них, и начинается постепенное нарастание выходного значения. Следует заметить, что нарастание может быть нелинейно.

*Стадия стабилизации возбуждения* начинается сразу после стадии нарастания, поскольку в данном нейроне абсолютное значение, характеризующее затухание сигнала, зависит от самого сигнала и увеличивается с увеличением самого сигнала. Через некоторое время наступает стабилизация колебаний выхода с (1) в некотором диапазоне значений, или появляется «красная зона», означающая, что в тексте сокрыта информация.

*Стадия спада возбуждения* следует после окончания стегосообщения, поскольку в этом случае выходное значение нейрона (1) постепенно падает до 0.

На графике также видно, к каким результатам приводят изменения коэффициента затухания. При его увеличении увеличивается чувствительность метода, но в то же время увеличивается количество шагов, требуемых для спада возбуждения. На стадию нарастания возбуждения параметр  $V$  влияет незначительно. На графике видно, что разброс значений увеличивается при увеличении параметра  $V$ , что означает повышение чувствительности нейрона (1).

После подсчета значения нейрона с обратной связью (1) оно попадает на индикатор (2), сигнализирует, превысило ли значение, поступившее на вход, некоторое значение, или же оно находится в пределах нормы.

Индикатор (2) реализован как простейший персептрон, значение которого рассчитывается по следующей формуле:

$$z = \begin{cases} 1, & \text{если } (x - 0.3) > 0 \\ -1, & \text{если } (x - 0.3) \leq 0. \end{cases}$$

Данный индикатор выдает значение -1, если значение на его входе опустилось ниже некоторого предельного значения, и +1, если значение находится в «красной зоне».

После того как выход с (1) при помощи (2) преобразован к набору значений  $[-1; 0; 1]$ , данные подаются на счетчик срабатывания индикатора (3). Значение счетчика срабатываний индикатора для скрытого сообщения рассчитывается по следующей формуле:

$$z = \begin{cases} x + z^{-1}, & \text{если } (z > 0) \\ 0, & \text{если } (z \leq 0). \end{cases}$$

В результате мы отсекаем отрицательную часть значений, что снижает инерцию в росте значения функции при обнаружении подозрительных блоков.

График итоговых значений нейросети изображен на рис. 3.

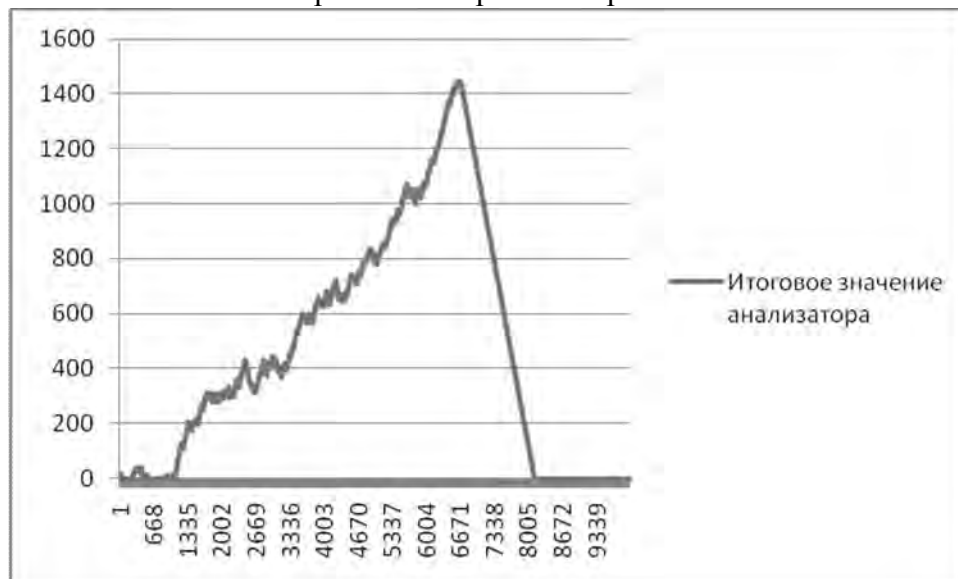


Рис. 3. График итоговых значений нейросети

Как видно из рис. 3, по мере прохождения через стегодетектор потока, содержащего скрытую информацию, значение на его выходе непрерывно растет, пока не закончится собственно скрытое сообщение, после чего значение детектора начинает убывать.

Таким образом, в качестве индикатора наличия стегосообщения можно использовать превышение значения на выходе блока-анализатора некоторого порогового значения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье были рассмотрены принципы построения стегодетектора, использующего в качестве одного из своих элементов нейросеть. Важнейшим достоинством такого стегодетектора является то, что он предназначен для анализа информационных потоков, а не всего информационного сообщения в целом. В частности, этот стегодетектор способен обрабатывать потоки растровых данных, в которых может быть скрыта информация путем задания максимальной яркости некоторым точкам (пикселям).

## Список используемых источников

1. *Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю.* Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
2. *Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В.* Цифровая стеганография. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
3. *Быков С.Ф.* Алгоритм сжатия JPEG с позиции компьютерной стеганографии // Защита информации. Конфидент. – 2000. – № 3. – С. 26–33.
4. *Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю.* Нейросетевые системы управления – Изд. 1-е. – М.: Высшая школа, 2002. – 184 с.
5. *Каллан Р.* Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 290 с.

А.Б. Кузнецов,  
*кандидат технических наук, доцент;*  
А.С. Шавин

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПОДГОТОВКИ И ПУСКА**

Работа посвящена задаче выбора помехоустойчивого кода для передачи информации в автоматизированных системах подготовки и пуска ракет космического назначения. В статье представлена методика выбора помехоустойчивого кода, которая учитывает характеристики кодов, влияющие на процесс управления подготовкой и пуском. Методика заключается в количественной оценке характеристик кодов, постановке и решении задачи многокритериального оптимального выбора.

Ключевые слова: автоматизированная система подготовки и пуска, достоверность передачи информации, эффективность передачи сообщения, помехоустойчивый код.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Автоматизированная система подготовки и пуска (АСПП) ракет космического назначения (РКН) является информационно-управляющей системой. При проведении подготовки и пуска РКН обмен информационными сигналами между автоматизированной системой управления (АСУ), бортовой аппаратурой и смежными подсистемами происходит в цифровом виде по экранированным проводным линиям. Основное назначение подсистемы связи в АСПП – это обеспечение адекватности, устойчивости, непрерывности управления и контроля. Однако внешние помехи или повреждения элементов могут исказить информацию о состоянии технологического процесса подготовки и пуска.

Информационный обмен является неотъемлемой частью процесса управления [1]. Следовательно, требования по достоверности передачи информации должны быть объективными и научно обоснованными, направленными на разработку и оптимизацию различных технических решений, повышающих качество управления. Достоверность есть объективное свойство информации, отражающее её безошибочность, целостность, непротиворечивость, что в области практического применения означает сохранение тождества между содержанием источника и приёмника информации. Количественная оценка достоверности информации является ключевым показателем-индикатором функциональной устойчивости АСУ.

Для обеспечения передачи информации с требуемой достоверностью используется структурное резервирование и введение информационной избыточности в передаваемые сообщения. Структурное резервирование, обеспечивающее достоверность передачи, заключается в использовании нескольких каналов связи для передачи одного и того же сообщения. Информационная избыточность обеспечивается многократным повторением передаваемой информации или применением корректирующего (помехоустойчивого) кода, позволяющего на приемной стороне обнаружить или исправить ошибки.

### **ОПИСАНИЕ И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ**

Все помехоустойчивые коды основаны на одной общей идее: для обнаружения и исправления ошибок, возникших при передаче или хранении информации, к ней добавляется некоторая избыточность. Избыточные символы дописываются вслед за информационными, образуя кодовое слово.

Так как в данной работе рассматривается процесс передачи с информационной избыточностью, для оценки достоверности целесообразно использовать вероятность необнаружен-

ной ошибки. В статье рассматривается именно обнаружение, а не исправление ошибок, т.к. в АСПП применяются высококачественные проводные и оптоволоконные каналы связи с возможностью переспроса передаваемых блоков данных.

Вероятность необнаруженной ошибки – это вероятность того, что одно разрешенное кодовое слово исказится в другое разрешенное кодовое слово. С точки зрения процесса декодирования, вероятность необнаруженной ошибки равна вероятности того, что принятое слово отличается от переданного, но имеет нулевой синдром [2].

Принципы обнаружения и исправления ошибок кодами хорошо иллюстрируются при помощи геометрических моделей [3]. Любой  $n$ -мерный код можно представить с помощью  $n$ -мерного куба, в котором каждая вершина отображает кодовое слово, а длина ребра соответствует единице. На рис. 1 представлена трехмерная геометрическая модель помехоустойчивого кода. Расстояние между вершинами измеряется минимальным количеством ребер между ними и называется кодовым расстоянием (рис. 1). Таким образом, кодовое расстояние – это минимальное количество элементов, в которых одна кодовая комбинация отличается от другой. Для определения минимального кодового расстояния необходимо вычислить кодовое расстояние между всеми парами кодовых слов и найти наименьшее.

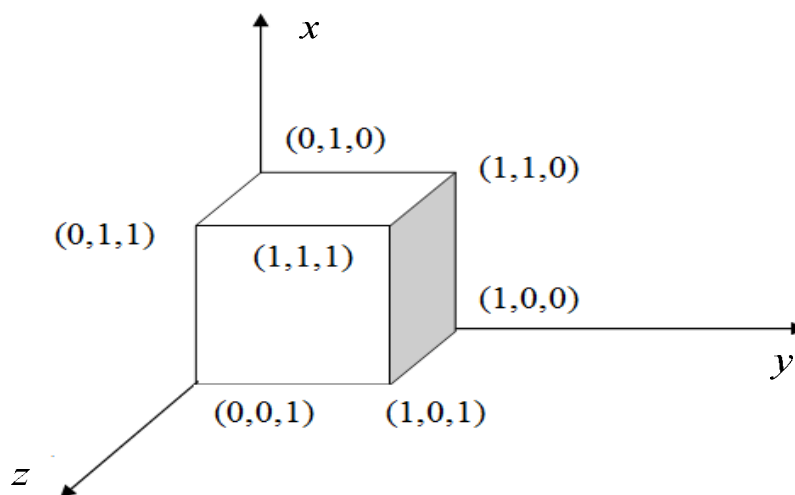


Рис. 1. Геометрическая модель помехоустойчивого кода.

В общем случае минимальное кодовое расстояние ( $d_{\min}$ ) определяется выражением

$$d_{\min} = r + s + 1, \quad (1)$$

где  $r$  – число обнаруженных ошибок;

$s$  – число исправляемых ошибок.

Вероятность необнаруженной ошибки ( $P_{\text{н.ош.}}$ ) можно оценить следующим образом [2]:

$$P_{\text{н.ош.}} = \sum_{i=d_{\min}}^n A_i P_e^i (1 - P_e)^{n-i},$$

где  $P_e$  – вероятность искажения одного бита;

$A_i$  – распределение весов передаваемых кодовых слов;

$n$  – длина кодового слова.

Однако для большинства кодов распределение весов неизвестно. Для некоторых способов кодирования, анализируя алгебраическую конструкцию кода, можно оценить количество необнаруженных и неисправляемых ошибок  $l$ . Вероятность искажения  $l$  символов определяется выражением

$$P(l) = C_n^l P_e^l (1 - P_e)^{n-l},$$

где  $C_n^l = \frac{n!}{l!(n-l)!}$ , а  $l$  – количество искаженных символов в кодовом слове длиной  $n$ .

Повышение достоверности оказывает влияние на изменение других показателей качества передачи информации. При наличии помех требования высокой достоверности и эффективности передачи являются противоречивыми: возрастающие требования к достоверности могут обеспечиваться за счет уменьшения скорости передачи информации [4]. Информационная избыточность повышает достоверность, при этом уменьшает эффективность и скорость передачи информации. Поэтому необходимо найти приемлемый компромисс, основываясь на анализе требований к АСПП [5]. Эффективность передачи сообщения устанавливает взаимосвязь между достоверностью и оперативностью передачи информации. Эффективность передачи сообщения  $S$  определяется как отношение числа информационных битов в сообщении, переданном от источника и правильно принятом приемником, к общему числу битов в сообщении [4]:

$$S = \frac{k(1 - P_e)^n}{n},$$

где  $k$  – число информационных битов;  
 $n$  – общее число битов.

Скорость передачи информации зависит от эффективности передачи сообщения:

$$V_{\text{инф}} = SV_c,$$

где  $V_c$  – скорость передачи сигнала в линии связи.

Каждый способ помехоустойчивого кодирования обеспечивает определенную достоверность и влияет на скорость передачи информации. Кроме скорости и достоверности способ характеризуется возможностью и удобством технической реализации в конкретной системе. Определим данный показатель как «простота реализации» способа обеспечения достоверности. Под «простотой реализации» будем понимать совокупность свойств, присущих рассматриваемому способу, таких, как возможность интеграции в систему управления, совместимость с другими устройствами и алгоритмами канала передачи информации. У способов обеспечения достоверности отсутствуют элементарные измеримые свойства или признаки, по которым можно однозначно и объективно оценить их «простоту реализации». В таких случаях используются ранговые измерения при попарном сравнении объектов [7].

Пусть  $\mathbf{M}$  – множество способов обеспечения достоверности,  $\mathbf{M} = \{m_i \mid i = \overline{1, u}\}$ , где  $u$  – количество способов. Результат парных сравнений передаваемых сообщений представляет собой матрицу

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1u} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{u1} & a_{u2} & \dots & a_{uu} \end{bmatrix},$$

где  $a_{ij}$  – количественное суждение [7] о паре способов  $(m_i, m_j)$ .

Матрица парных сравнений соответствует следующим правилам:

- если  $a_{ij} = \alpha$ , то  $a_{ji} = 1/\alpha$ ,  $\alpha \neq 0$  [7];
- $a_{ii} = 1$ .

Вектор приоритетов способов определяется как собственный вектор матрицы  $\mathbf{A}$ , удовлетворяющий условию [7]:

$$\begin{cases} \mathbf{A}\mathbf{W} = \lambda_{\max} \mathbf{W}, \\ \sum_{i=1}^u w_i = 1, \end{cases}$$

где  $\mathbf{W}$  – вектор приоритетов способов кодирования. Каждому способу соответствует элемент вектора  $\mathbf{W}$ ;

$\lambda_{\max}$  – максимальное собственное значение матрицы **A**.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

Таким образом, дав описание количественных характеристик способов помехоустойчивого кодирования, процедуру выбора того или иного способа для применения в АСПП можно свести к задаче оптимального многокритериального выбора.

Результатом одноактного выбора является исход, характеризующийся векторной оценкой

$$\mathbf{Y}_i = \langle y_{i1}, y_{i2}, y_{i3} \rangle,$$

где  $y_{i1}$  – показатель достоверности, при этом  $y_{i1} = P_{\text{н.ош } i}$ ;

$y_{i2}$  – эффективность передачи сообщения,  $y_{i2} = S_i$ ;

$y_{i3}$  – «простота реализации» способа,  $y_{i3} = A_i$ ;

$i$  – номер способа,  $i = \overline{1, u}$ .

Критерии выбора могут быть определены математически, и задача выбора станет однокритериальной, когда один из показателей должен принять экстремальное значение. Также критерии выбора может определить лицо принимающее решение, и задача выбора будет решена методом экспертных оценок.

В качестве примера исходных данных для решения задачи оптимального многокритериального выбора выступает табл. 1, в которой приведены хорошо изученные помехоустойчивые коды, которые разнообразны по своей корректирующей способности и сложности реализации.

Таблица 1

### Характеристики помехоустойчивых кодов

Способ обеспечения достоверности	Описание способа	Избыточность кода ( $n, k$ )	Вероятность необнаруженной ошибки ( $P_{\text{н.ош}}$ )	Эффективность передачи сообщения ( $S$ )	«Простота реализации» ( $A$ )
Контрольная сумма	К информационным символам добавляются проверочные, которые формируются суммированием определенных информационных символов. Например, передается 32 бита, каждые 8 бит проверены на четность, так что к 32 информационным символам добавлены 4 проверочных	(36,32)	$3 \cdot 10^{-5}$	0,86	0,51
Инверсный код	Исходная $k$ -разрядная комбинация дополняется $k$ -разрядной комбинацией. Если в исходном сообщении число единиц четное, оно повторяется, если нечетное –	(64,32)	$5 \cdot 10^{-15}$	0,47	0,26

Окончание табл. 1

Способ обеспечения достоверности	Описание способа	Избыточность кода ( $n, k$ )	Вероятность необнаруженной ошибки ( $P_{н.ош}$ )	Эффективность передачи сообщения ( $S$ )	«Простота реализации» ( $A$ )
	берется инверсная комбинация				
Код Хэмминга	Линейный код, в котором операцию кодирования можно представить уравнением $\mathbf{v} = \mathbf{uG}$ , где $\mathbf{u}$ – вектор сообщения, $\mathbf{v}$ – вектор кодового слова, $\mathbf{G}$ – порождающая матрица [6]. Код определяется числом проверочных символов: $(n, k, n-k)$	(31,26,5)	$4,3 \cdot 10^{-6}$	0,81	0,06
		(63,57,6)	$3,7 \cdot 10^{-5}$	0,85	
Циклический код	Линейный блочный код, который определяется порождающим полиномом и количеством проверочных символов. $x^8 + x^6 + x^4 + x^2 + 1$ – для (40,32); $x^{16} + x^{14} + x^{10} + x^6 + x^2 + 1$ – для (48,32)	(40,32)	$7 \cdot 10^{-6}$	0,77	0,13
		(48,32)	$3 \cdot 10^{-7}$	0,63	
Код БЧХ (Боуза, Чоудхури, Хоквингема)	Циклический код, предназначенный для исправления ошибок. При кодировании задается длина кодового слова $n = 2^m - 1$ , где $3 \leq m < 15$ , и количество исправляемых ошибок $s$ . Число информационных символов определяется по алгоритму БЧХ. Код $(n, k, s)$	(63,36,5)	$3 \cdot 10^{-11}$	0,54	0,03
		(63,30,5)	$5 \cdot 10^{-13}$	0,45	

Для расчетов, приведенных в таблице, были использованы следующие данные:

- вероятность искажения одного символа  $P_e = 10^{-3}$ ;
- количество информационных символов от 26 до 57 (объем передаваемой информации, характерный для АСПП).

Для оценки «простоты реализации» были использованы количественные суждения от 1 до 9, преимущества которых рассмотрены в работе [7].

#### АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДА

На основе вышеизложенных рассуждений процедуру выбора помехоустойчивого кода для передачи информации в АСПП можно представить в виде алгоритма.

Алгоритм выбора помехоустойчивого кода представляют собой определенную последовательность действий:

- 1) определение характеристик помехоустойчивого кода:
  - достоверность, обеспечиваемая кодом;
  - эффективность передачи сообщений;
  - «простота реализации» способа кодирования;
- 2) количественная оценка характеристик кодов;
- 3) постановка задачи оптимального многокритериального выбора;
- 4) определение критериев выбора;
- 5) принятие решения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье представлена методика выбора помехоустойчивого кода для передачи информации в АСПП. Предложенный подход является гибким инструментом для научно обоснованного выбора необходимого кода из числа известных. В зависимости от критериев выбора методика может стать обоснованием необходимости разработки новых способов помехоустойчивого кодирования, обеспечивающих адекватность, устойчивость, непрерывность управления в АСПП.

## Список используемых источников

1. *Боговик А.В., Загоруйко С.С.* Теория управления в системах военного назначения. – М.: МО РФ, 2001. – 320 с.
2. *Вернер М.* Основы кодирования. – М.: Техносфера, 2004. – 288 с.
3. *Тутевич В.Н.* Телемеханика. – М.: Энергия, 1973. – 384 с.
4. ГОСТ Р МЭК 870-5-1-95. Устройства и системы телемеханики. – М.: Издательство стандартов, 1995. – Ч. 5: Протоколы передачи, разд. 1: Форматы передаваемых кадров. – 36 с.
5. *Шавин А.С., Кузнецов А.Б., Романов А.В.* Модель процесса передачи информации в автоматизированных системах подготовки и пуска ракет космического назначения // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2013. – Вып. 640. – С. 119–122.
6. *Морелос-Сарагоса Р.* Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2006. – 320 с.
7. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 275 с.

А.Г. Басыров;  
*доктор техн. наук, профессор;*  
А.Ф. Шинкаренко;  
Е.А. Ситало

## **ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ВАЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Изложена проблема оценивания важности информационно-технических объектов. Рассмотрена методика расчета показателя важности информационно-технических объектов для их ранжирования. Даны рекомендации по определению важных элементов сетевой инфраструктуры.

Ключевые слова: информационно-технический объект, частный показатель важности, коэффициент значимости.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из приоритетных направлений развития Вооруженных Сил РФ в настоящее время является создание системы информационной безопасности.

Важными проблемами совершенствования технологий информационной безопасности автоматизированных систем являются оценка информационной обстановки и поддержка принятия решения о защите информационных объектов и ресурсов. Действительно, в настоящее время практически все объекты, имеющие экономическую или военную значимость, функционируют под управлением информационно-технических систем. Количество таких объектов велико (тысячи и более). В условиях ограниченных возможностей по обеспечению информационной безопасности, а также дефицита времени проблема отнесения информационно-технических объектов к категории критически важных является, с одной стороны, нетривиальной, а с другой – значительной по своему влиянию на эффективность проведения мероприятий информационной безопасности.

Важность подобных объектов определяется многими факторами и является одним из основных показателей, характеризующих возможность достижения конечной цели (решения задачи) применения информационно-технических систем.

В данной статье на основе метода анализа иерархий [1] предлагается концептуальный подход к оцениванию важности информационно-технических объектов в целом и элементов инфо-телекоммуникационных систем (ИТКС) в частности.

### **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ВАЖНОГО УЗЛА В ИНФО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

При анализе сложных ИТКС их узлы (маршрутизаторы, серверы и т.д.) характеризуются различными параметрами. В целях ранжирования информационных объектов по важности необходимо наличие показателя важности информационно-технического объекта. Этот показатель зависит от множества частных показателей. Для формирования показателя важности применяется иерархия групп частных показателей. В первую (главную) группу частных показателей целесообразно включить:

- величину возможного ущерба, вызванного нарушением функционирования объекта (А);
- потенциальную уязвимость объекта (В);
- наличие (у противника) сил и средств воздействия на объект (С).

Каждый частный показатель первой группы определяется соответствующими частными показателями второй группы. Примерами показателей второй группы могут стать следующие.

Величина возможного ущерба, вызванного нарушением функционирования объекта, складывается из ряда величин:

- $A_1$  – информационно-техническая составляющая;
- $A_2$  – экономический урон;
- $A_3$  – информационно-психологические последствия.

Потенциальная уязвимость объекта состоит из следующих показателей:

- $B_1$  – уязвимость прикладного программного обеспечения (ПО);
- $B_2$  – уязвимость системного программного обеспечения (ПО);
- $B_3$  – физическая уязвимость.

Наличие (у противника) сил и средств воздействия на объект выражается следующими характеристиками:

- $C_1$  – программно-аппаратными средствами воздействия;
- $C_2$  – радиоэлектронными средствами воздействия;
- $C_3$  – возможностью физического воздействия.

Возможно несколько уровней вложенности частных показателей важности (ЧПВ), т.е. ЧПВ более высокого уровня может состоять из нескольких ЧПВ более низкого уровня. Их взаимосвязь может быть представлена так, как показано на рис. 1. Каждый ЧПВ $_{ij}^j$  имеет два индекса: верхний ( $i$ ) – порядковый номер ЧПВ старшего уровня, в который он вложен, и нижний ( $j$ ) – порядковый номер ЧПВ на своем уровне иерархии.

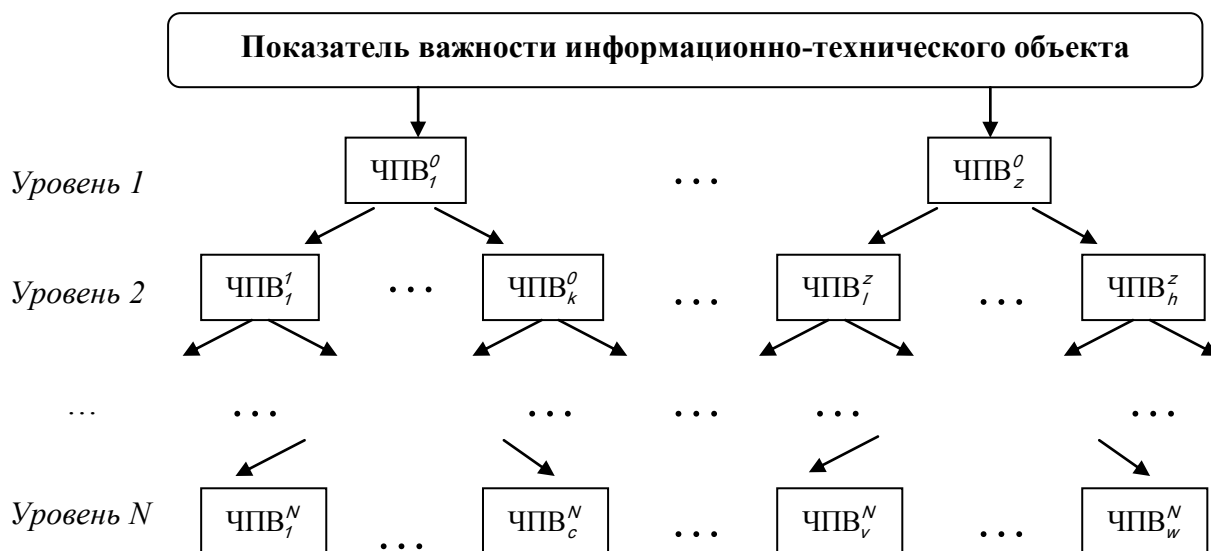


Рис. 1. Взаимосвязь ЧПВ разных уровней

Концептуально показатель  $S$  важности информационно-технического объекта будем определять через произведение значений функций от ЧПВ первого уровня. Например, для трех групп ЧПВ первого уровня показатель  $S$  можно выразить как

$$S = F(A) \cdot F(B) \cdot F(C). \quad (1)$$

Так как любой из ЧПВ первого уровня определяется значениями ЧПВ второго уровня, то, например, для определения величины  $A$  возможного ущерба, вызванного нарушением функционирования объекта, можно записать:

$$A = F(A_1) \cdot F(A_2) \cdot \dots \cdot F(A_k). \quad (2)$$

Как правило, в качестве функций  $F(x)$ , участвующих в произведениях (1) и (2), используются суммы значений ЧПВ, взвешенных соответствующими коэффициентами значимости этих ЧПВ.

При этом ЧПВ  $j$ -го информационно-технического объекта можно определить как

$$S_j = \sum_{i=1}^m k_i \cdot \tilde{q}_i, \quad (3)$$

где  $S_j$  – показатель важности  $j$ -го информационно-технического объекта;

$k_i$  – коэффициент значимости  $i$ -го ЧПВ;

$\tilde{q}_i$  – нормированное значение  $i$ -го ЧПВ;

$m$  – количество ЧПВ, учитываемых в расчете показателя информационно-технического объекта.

Нормированное значение  $i$ -го ЧПВ определяется следующим образом:

$$\tilde{q}_i = \frac{q_i - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}, \quad (4)$$

где  $q_i$  – абсолютное значение  $i$ -го ЧПВ;

$q_{\min}$  – минимальное для множества рассматриваемых объектов значение ЧПВ;

$q_{\max}$  – максимальное для множества рассматриваемых объектов значение ЧПВ.

Рассмотрим подход к определению коэффициента значимости ЧПВ на основе процедуры парных сравнений. В рамках данной процедуры на каждом уровне иерархии ЧПВ определяется, насколько один показатель превосходит другой по важности, с точки зрения его вклада в ЧПВ более высокого уровня. При этом используется шкала превосходства [1], представленная в табл. 1.

Таблица 1

### Шкала превосходства показателей

Значения шкалы превосходства	Содержание значений шкалы превосходства
1	Сравнимые показатели одинаковы
3	Показатель незначительно превосходит другой
5	Показатель сильно превосходит другой
7	Показатель очень сильно превосходит другой
9	Показатель абсолютно превосходит другой
2,4,6,8	Промежуточные значения шкалы (для компромиссных решений)

В основе процедуры парных сравнений лежит метод экспертных оценок. Сравниваемые между собой ЧПВ образуют заголовки строк и столбцов квадратной матрицы, пример которой приведен в табл. 2. Сравнение ЧПВ между собой происходит последовательно: сначала для ЧПВ первой строки “перебираются” все столбцы ЧПВ, затем – для второй и. т.д. На пересечении строки и столбца ставится значение шкалы превосходства, характеризующее степень различия одного показателя (строка) от другого (столбец) по важности с точки зрения указанной цели (табл.2). При сравнении одинаковых показателей проставляется значение шкалы, равное 1, т.е. главная диагональ табл. 2 будет содержать единицы. Если показатель строки превосходит показатель столбца, то ставится целое число, определяемое экспертом. В противном случае ставится число, обратное целому, например: 1/2, 1/3,...,1/5.

Таблица 2

### Исходные данные для оценивания коэффициентов значимости ЧПВ

ЧПВ	$A_1$	$A_2$	$A_3$	...	$A_i$	...	$A_j$	...	$A_n$	Коэффициенты значимости
$A_1$	1	3	5	...	$a_{1i}$	...	$a_{1j}$	...	1/2	$k_1$
$A_2$	1/3	1	2	...	$a_{2i}$	...	$a_{2j}$	...	3	$k_2$
$A_3$	1/5	1/2	1	...	...	...	...	...	4	$k_3$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$1/a_{1i}$	$1/a_{2i}$	$1/a_{3i}$	...	1	...	$a_{ij}$	...	$a_{in}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$A_j$	$1/a_{1j}$	$1/a_{2j}$	$1/a_{3j}$	...	$1/a_{ij}$	...	1	...	$a_{jn}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$A_n$	2	1/3	1/4	...	$1/a_{in}$	...	$1/a_{jn}$	...	1	$k_n$

После полного заполнения таблицы можно определить коэффициенты значимости для каждого ЧПВ по формуле

$$k_i = \frac{u_i}{U}, \quad (5)$$

где

$$u_i = \sqrt[n]{\prod_{l=1}^n a_{il}}, \quad U = \sum_{i=1}^n u_i. \quad (6)$$

При известных коэффициентах значимости ЧПВ и значениях самих ЧПВ первого уровня иерархии можно по выражению (3) определить показатель важности каждого информационно-технического объекта. Этот показатель позволяет легко отранжировать все рассматриваемые информационно-технические объекты по важности.

Для отнесения  $i$ -го объекта к критически важным можно использовать критерий  $S_i \geq S_{кр}$ , где  $S_{кр}$  – пороговое значение показателя важности критически важного информационно-технического объекта, которое может варьироваться в зависимости от типа информационно-технического объекта и условий обстановки.

## МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ВАЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Современные инфо-телекоммуникационные системы строятся на основе сетевых технологий различной степени распределенности: от локальных до глобальных. Такие ИТКС содержат множество информационно-технических объектов: сервера, рабочие места операторов, маршрутизаторы, каналы связи, системы и сети хранения данных и др.

Известно несколько подходов к оцениванию важности элементов компьютерной сети. Так, в работе [2] для определения наиболее важного узла рассматриваются два показателя – количество путей, проходящих через узел, и сумма весов входных и выходных дуг. При этом игнорируется, на наш взгляд, ряд важных факторов, например, таких, как наличие уязвимости в системном и прикладном ПО, интенсивность запросов на узел, наличие резервного узла или канала и т.д.

При анализе сложных ИТКС целесообразно их моделирование с использованием графов. Рассмотрим предложенный подход к оцениванию важности элементов ИТКС, имеющей структуру, представленную на рис. 2.

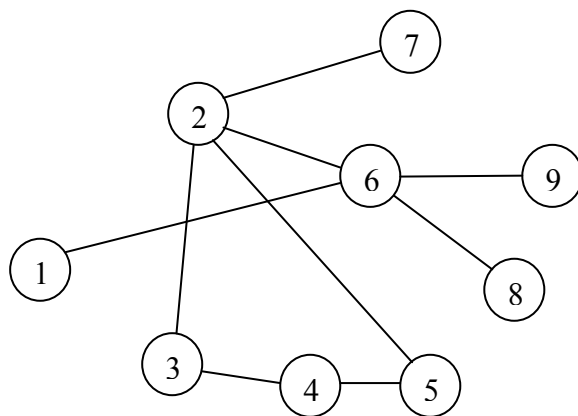


Рис. 2. Пример участка ИТКС

На первом этапе выделим ЧПВ первого и второго уровней:

1) топологические свойства ИТКС ( $A$ ):

- входная и выходная степень узла ( $A_1$ ) – количество рёбер графа, которые входят (выходят) из узла;
- посредничество ( $A_2$ ) – количество кратчайших путей, проходящих через данный узел;
- центральность ( $A_3$ ) – общее количество связей данного узла по отношению к другим.

2) потенциальную уязвимость объекта ( $B$ ):

- уязвимость прикладного ПО ( $B1$ );
- уязвимость системного ПО ( $B2$ );
- физическая уязвимость ( $B3$ ).

3) наличие у нарушителя сил и средств воздействия на объект ( $C$ ):

- программно-аппаратные средства воздействия ( $C1$ );
- радио электронные средства воздействия ( $C2$ );
- возможность физического воздействия ( $C3$ ).

Следующим этапом будет определение коэффициентов значимости ЧПВ. Для каждого ЧПВ первого уровня на основе экспертной оценки составим таблицу сравнений ЧПВ первого уровня (табл. 3).

Таблица 3

**Исходные данные для оценивания  
коэффициентов значимости ЧПВ первого уровня**

ЧПВ	$A$	$B$	$C$	$k_i$
$A$	1	1/5	4	0,205
$B$	5	1	7	0,722
$C$	1/4	1/7	1	0,073

После парного сравнения ЧПВ, согласно выражениям (5) и (6), определяется коэффициент значимости каждого ЧПВ. Результаты представлены в табл. 4 – 6.

Таблица 4

**Исходные данные  
для оценивания коэффициентов значимости ЧПВ  $A$**

ЧПВ	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$k_{ai}$
$A_1$	1	1/2	3	0,332
$A_2$	2	1	3	0,528
$A_3$	1/3	1/3	1	0,14

Таблица 5

**Исходные данные  
для оценивания коэффициентов значимости ЧПВ  $B$**

ЧПВ	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$k_{bi}$
$B_1$	1	1/3	1/5	0,098
$B_2$	3	1	1/5	0,202
$B_3$	5	5	1	0,7

Таблица 6

**Исходные данные  
для оценивания коэффициентов значимости ЧПВ  $C$**

ЧПВ	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$k_{ci}$
$C_1$	1	2	1/5	0,15
$C_2$	1/2	1	1/7	0,09
$C_3$	5	7	1	0,76

Теперь перейдем непосредственно к определению важности каждого информационно-технического объекта. Она определяется согласно выражениям (3) и (4). Таким образом, используя полученные коэффициенты значимости  $k_i$  и абсолютные значения ЧПВ  $i$ -го информационно-технического объекта, мы получаем следующие результаты:

$$S_1=0,2338; S_2=0,3511; S_3=0,2984; S_4=0,2655; \\ S_5=0,2984; S_6=0,3726; S_7=0,2338; S_8=0,2338; S_9=0,2338$$

В данном примере по степени важности узлы ИТКС расположены в следующем порядке:  $S_6$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_5$ ,  $S_4$ ,  $S_1$ ,  $S_7$ ,  $S_8$ ,  $S_9$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в статье подход к определению наиболее важных информационно-технических объектов позволяет производить качественное и полное ранжирование информационно-технических объектов по важности, что делает возможным в течение ограниченного рамками времени защищать те информационные ресурсы, к которым проявляет наибольший интерес источник угрозы. В результате это позволяет осуществлять оправданную экономию имеющихся у нас информационных ресурсов и рационально их использовать, а также грамотно построить информационную безопасность автоматизированной системы.

## Список используемых источников

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
2. Евин И.А. Сложные сети как модели сложных систем // Международная конференция «Сети, самоорганизация, будущее», 2012. // [www.i-nett.com/2012/11/18/slozhnye-seti-kak-modeli](http://www.i-nett.com/2012/11/18/slozhnye-seti-kak-modeli)

А.В. Паршуткин,  
доктор техн. наук;  
И.Н. Сиротин;  
А.В. Коновалов

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ НА РАДИОЛОКАТОРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

Изложены основные принципы обработки радиолокационных сигналов в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой дистанционного зондирования Земли, приведен порядок оценки вероятности обнаружения объектов на морской поверхности при заданной вероятности ложной тревоги с учетом воздействия непреднамеренных помех.

Ключевые слова: космические аппараты дистанционного зондирования Земли, радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны, вероятность обнаружения объектов, непреднамеренные помехи.

### ВВЕДЕНИЕ

Радиолокаторы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) космического размещения являются эффективным средством получения информации об объектах, находящихся в морских акваториях. В качестве объектов рассматриваются корабли различного назначения. На информацию, получаемую космическими радиолокаторами, могут оказывать влияние непреднамеренные помехи, в качестве которых в данной статье рассматриваются помехи от мощных передатчиков радиоэлектронных средств, которые могут находиться на соседних кораблях, а также уровень фона при различных погодных условиях (бальное волнение моря) и внутренние шумы приемника радиолокатора. В качестве радиолокаторов рассматриваются радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА).

Цель работы: 1) разработка методики оценки воздействия непреднамеренных помех на радиолокаторы ДЗЗ космического базирования; 2) исследование влияния непреднамеренных помех на вероятность обнаружения морских объектов (кораблей) радиолокаторами ДЗЗ космического базирования.

### ПОРЯДОК ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ

В современных условиях общая задача обнаружения судов включает в себя [1]:

- поиск и обнаружение, а также определение координат кораблей (в акваториях и базах) и судов разных классов. Особой задачей является контроль зон рыболовства с выявлением нарушителей, а также контрабандистов на судах малого тоннажа;
- определение класса (типа) морской цели;
- определение курса и скорости.

В данной работе более подробно рассматривается задача обнаружения судов.

В общем случае эффективность обнаружения любых целей принято характеризовать вероятностью обнаружения  $P_o$ . Вероятность успешного поиска и обнаружения судна  $P_{по}$  зависит как от эффективности организации поисковой процедуры, так и от энергетических условий, влияющих на вероятность обеспечения контакта при нахождении судна в поле зрения поисковой системы.

Эффективность поисковой процедуры определяется соотношением площади, обследуемой группировкой РСА в единицу времени, допустимым временем поиска и областью неопреде-

ленности по положению объекта поиска. Ее можно оценить вероятностью обеспечения условий для обнаружения  $P_{yo}$ .

Энергетические условия обеспечения контакта характеризуются вероятностью обнаружения  $P_o$ , которая зависит от отражательных характеристик судна на частотах работы РСА, вида, параметров и поляризации сигнала, метеорологических условий, волнения моря, алгоритмов обработки сигналов в РСА и условий взаимного положения КА с РСА и наблюдаемого судна.

В первом приближении вероятности  $P_{yo}$  и  $P_o$  определяются независимыми факторами, и для общей вероятности успешного поиска и обнаружения можно записать:

$$P_{по} = P_{yo} \cdot P_o. \quad (1)$$

Не анализируя эффективность процедуры поиска, под вероятностью обнаружения судна в данной методике будем рассматривать вероятность обнаружения совокупности отраженных радиосигналов от судна, находящегося в пределах мгновенного поля зрения РСА, при полной априорной неопределенности относительно местонахождения и ракурса наблюдения судна.

В случае оценки вероятности обнаружения судна  $P_o$  по результатам радиолокационного наблюдения космической РСА в качестве мешающих параметров будем рассматривать местоположение судна в пределах зоны обзора и ракурс радиолокационного наблюдения.

В качестве первого линейного приближения для оценки вероятности обнаружения судна  $P_o$  может использоваться значение вероятности для цели, находящейся в некотором среднем состоянии. Для интервала дальностей – это середина интервала. Известно, что при равновероятном ракурсе радиолокационного наблюдения среднеожидаемый размер проекции цели на нормаль к траектории движения носителя РСА равен  $0.637 l$ , где  $l$  – длина цели. Поэтому в качестве независимого от ракурса значения средней эффективной площади рассеивания (ЭПР) цели можно использовать средневзвешенное значение ЭПР  $\sigma_{cp}$ , основанное на выражении  $\sigma_{cp} = 0,637 \sigma_{max} + (1 - 0,637) \sigma_{min}$ , где  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{min}$  – максимальное и минимальное значение ЭПР объекта наблюдения.

В работе рассмотрено значение вероятности обнаружения судна для двух ситуаций. В первом случае источник непреднамеренных помех находится прямо на борту объекта наблюдения. В качестве такого источника может выступать РЭС различного назначения. Во втором случае источник непреднамеренных помех находится на другом носителе и расположен на некотором случайном расстоянии от наблюдаемого судна и смещен от объекта наблюдения в произвольном направлении.

Вероятность  $P_o$  находится на основе общеизвестных зависимостей вероятности обнаружения сигнала от отношения сигнал/шум  $Q$  (порядок расчета значения которого приведен ниже) в системе обнаружения  $P_o(Q)$ .

При приеме аддитивной смеси  $u(t)$  сигнала с шумом вероятность обнаружения сигнала определяется следующим образом:

$$P_o = \Phi \left( \frac{\overline{u(t)} - u_{пор}}{\sigma_y} \right) = \Phi \sqrt{Q} - \Phi^{-1}(1 - P_{лт}) \quad , \quad (2)$$

где  $\overline{u(t)}$  – среднее значение смеси сигнала с шумом;

$\sigma_y$  – дисперсия смеси сигнала с шумом;

$P_{лт}$  – вероятность ложной тревоги;

$\Phi(x)$  – интеграл вероятности, определяемый выражением

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (3)$$

Введем величину смещения  $q_{\text{см}} = \Phi^{-1}(1 - P_{\text{лт}})$ . В этом случае выражение (2) можно представить в виде

$$P_0 = \Phi(\sqrt{Q} - q_{\text{см}}) \quad (4)$$

При обнаружении импульсного сигнала на фоне гауссовских шумов и при оптимальном выборе величины порога величина  $q_{\text{см}}$  определяется только величиной ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$ , при этом  $q_{\text{см}} = \sqrt{2 \ln 1/P_{\text{лт}}}$ .

Величина смещения при  $P_{\text{лт}} = 10^{-7}$  составляет  $q_{\text{см}} = 5,678$ .

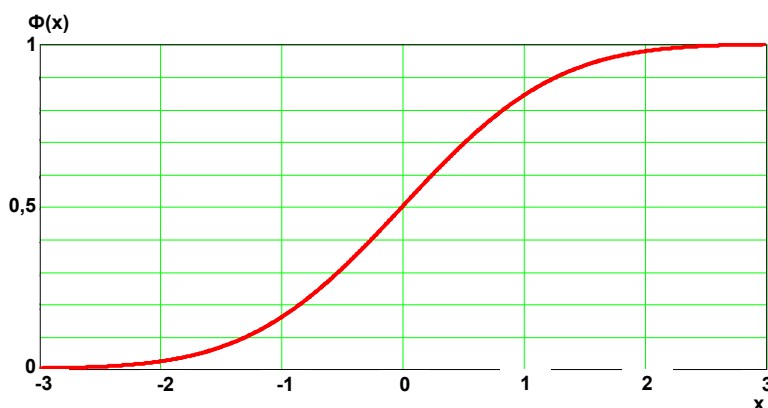


Рис. 1. График интеграла вероятности  $\Phi(x)$

Представленный график для интеграла вероятности (рис.1) показывает, что вероятность обнаружения сигнала быстро возрастает с ростом отношения сигнал/шум на входе приемника.

### СТРУКТУРА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ РСА И ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ РАБОТЕ РСА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ

В общем случае система обработки радиолокационных сигналов в космической РСА состоит из следующих элементов:

- антенны, которая излучает и принимает радиолокационные сигналы;
- приемника, который условно можно разделить на линейную часть, где происходит первичная обработка отраженных радиолокационных сигналов, и согласованный фильтр, который осуществляет оптимальную линейную обработку сигнала и позволяет получить на выходе оптимальное для дальнейшей обработки отношение сигнал/шум;
- алгоритма синтеза радиолокационного изображения, где происходит когерентное накопление отраженных сигналов и отношение сигнал/шум увеличивается в  $N_{\text{и}}$  раз;
- подсистемы дешифровки полученного радиолокационного изображения, которая позволяет увеличить отношение сигнал/шум в  $\sqrt{N_{\text{эл}}}$ .

На рис. 2 представлена структура системы обработки радиолокационных сигналов в РСА.

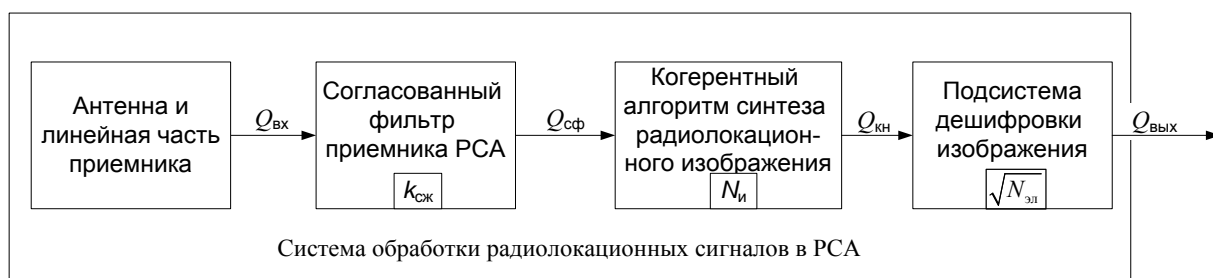


Рис. 2. Структура системы обработки радиолокационных сигналов в PCA

Отношение сигнал/шум на выходе подсистемы дешифровки изображения  $Q_{\text{вых}}$  определяется выражением

$$Q_{\text{вых}} = Q_{\text{кн}} \sqrt{N_{\text{эл}}}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{кн}}$  – отношение сигнал/шум после когерентного алгоритма синтеза радиолокационного изображения;

$N_{\text{эл}}$  – количество элементов разрешения, занимаемых целью,  $N_{\text{эл}} = S_{\text{п}} / \Delta x \Delta y$ .

Отношение сигнал/шум после когерентного алгоритма синтеза радиолокационного изображения определяется выражением

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{сф}} N_{\text{и}}, \quad (6)$$

где  $N_{\text{и}}$  – количество когерентно накапливаемых импульсов;

$Q_{\text{сф}}$  – отношение сигнал/шум в одном элементе разрешения на выходе согласованного фильтра, которое определяется по формуле

$$Q_{\text{сф}} = Q_{\text{вх}} k_{\text{сж}}. \quad (7)$$

Здесь  $Q_{\text{вх}}$  – отношение сигнал/шум в одном элементе разрешения на входе согласованного фильтра;

$k_{\text{сж}}$  – коэффициент сжатия, максимальное значение которого определяется как произведение ширины спектра зондирующего сигнала  $\Delta f$  на длительность импульса  $\tau_{\text{и}}$ ,  $k_{\text{сж}} = \Delta f \cdot \tau_{\text{и}}$  [2].

Отношение сигнал/шум в одном элементе разрешения на входе согласованного фильтра определяется как

$$Q_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{с1}} - P_{\text{ф1}}}{P_{\text{ш. прм}} + P_{\text{п}}}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{с1}}$  – мощность сигнала в одном элементе разрешения на входе согласованного фильтра;

$P_{\text{ф1}}$  – мощность сигнала от морской поверхности в одном элементе разрешения на входе согласованного фильтра;

$P_{\text{ш. прм}}$  – мощность собственных шумов приемника на входе согласованного фильтра;

$P_{\text{п}}$  – мощность непреднамеренных помех на входе согласованного фильтра.

В следующем разделе представлены выражения для определения мощностей сигналов и непреднамеренных помех, входящие в выражение (8).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ ЦЕЛИ НА ВХОДЕ ПРИЕМНИКА РСА

Взаимное положение цели и РСА показано на рис. 3.

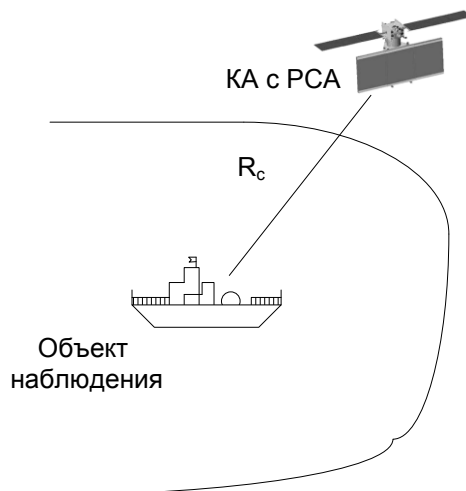


Рис. 3. Взаимное расположение объекта и РСА

Мощность сигнала на входе приемника РСА определяется с помощью основного уравнения радиолокационного наблюдения [1, 3]

$$P_{с1эл} = \frac{P_c D_c \sigma_{ц1} A_{эф}}{(4\pi R_c^2)^2 L(R_c)^2} = \frac{P_c D_c^2 \sigma_{ц1} \lambda^2}{(4\pi)^3 R_c^4 L(R_c)^2}, \quad (9)$$

где  $P_c$  – излучаемая мощность РСА, Вт;

$D_c$  – коэффициент направленного действия антенны;

$R_c$  – наклонная дальность до цели, м;

$\sigma_{ц1}$  – эффективная площадь рассеяния объекта в элементе разрешения,  $m^2$ ;

$A_{эф}$  – эффективная площадь антенны,  $m^2$ ;

$\lambda$  – длина волны РСА, м;

$G_{прм}$  – коэффициент усиления антенны РСА ( $G_{прм} \cong \eta D$ , где  $\eta$  – коэффициент полезного действия антенны);

$L(R_c)$  – затухание радиоволн в прямом и обратном направлении, которое определяется по [4].

Эффективная площадь антенны определяется выражением

$$A_{эф} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{прм}. \quad (10)$$

### Определение удельной ЭПР судна

Суда относятся к радиолокационным объектам сложной формы (корпус судна, мачты, надстройки и др.), поэтому сигналы, отраженные от судна, представляют собой результат интерференции большого количества колебаний, имеющих различные фазы и амплитуды.

ЭПР изменяется также во время движения судна, при качке, изменении курса и т.п. ЭПР максимальна со стороны бортов, и ее значение пропорционально площади сечения судна в диаметральной плоскости и минимально с носа и кормы. При этом ЭПР пропорциональна площади сечения в плоскости шпангоутов наибольшей ширины судна.

При практической оценке вероятности обнаружения судов прежде всего пользуются средним значением ЭПР  $\sigma$ . Эту величину можно получить усреднением значений  $\sigma$ .

В табл. 1 дана сводка усредненных данных по ЭПР морских целей в  $X$ -диапазоне волн. С увеличением длины волны ЭПР уменьшается в соответствии с приведенными ниже коэффициентами [1]:

диапазон волн .....  $X \quad S \quad L \quad P$ ;  
коэффициент пересчета ЭПР ..... 1,0 0,8 0,4 0,2.

Таблица 1

Значения ЭПР морских целей в  $X$ -диапазоне волн

Морские цели	Длина, м	Ширина, м	ЭПР с носа, м <sup>2</sup>	ЭПР с борта, м <sup>2</sup>
Авианосец типа Нимиц	332,8	78,4	$4 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^6$
Крейсер типа Тикондерога	171,7	16,8	$6 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^5$
Фрегат типа Перри	135,6	13,7	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$
Катер Пегас	40,5	8,6	180	1800

Зависимость среднего значения ЭПР  $\sigma$  от ракурса  $\theta$  и угла места  $\varphi$  можно представить как

$$\sigma_{\theta} = \sigma_6 \cos^2 \theta + \sigma_n \sin^2 \theta + \sigma_6 - \sigma_n \cdot \sin \varphi \cdot \sin^2 \theta \quad (11)$$

где  $\sigma_6$  – среднее значение ЭПР с борта;

$\sigma_n$  – среднее значение ЭПР с носа.

На рис. 4 и 5 представлена зависимость  $\sigma$  от ракурса на примере катера Пегас при  $\varphi=3$  град.

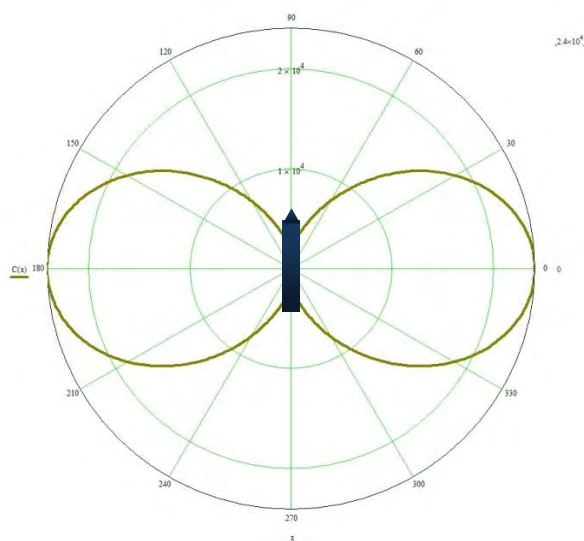


Рис. 4. Зависимость среднего значения ЭПР  $\bar{\sigma}$  катера Пегас от ракурса наблюдения  $\theta$  в  $X$ -диапазоне волн (в разгах)

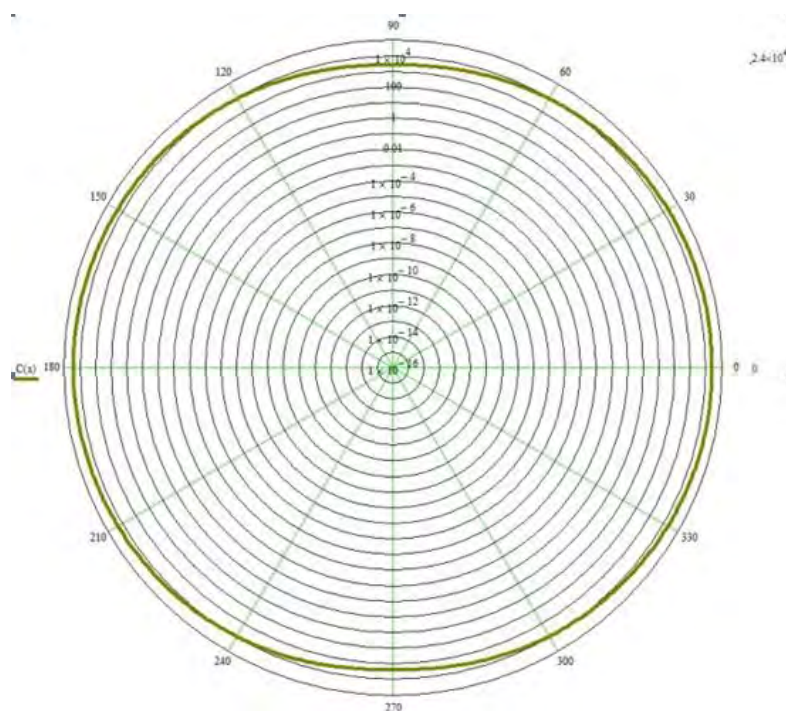


Рис. 5. Зависимость среднего значения ЭПР  $\bar{\sigma}$  катера Пегас от ракурса наблюдения  $\theta$  в X-диапазоне волн (в дБ)

Из опыта кораблестроения известно, что ширина судна составляет  $0,1 \dots 0,08$  длины судна  $l$ . Для вычисления площади верхней палубы  $S_{\Pi}$  используются выражения:

$$S_{\Pi} = \begin{cases} 0,1 \cdot l^2, & \text{при } l \geq 110 \text{ м}, \\ 0,12 \cdot l^2, & \text{при } 80 < l < 110 \text{ м}, \\ 0,15 \cdot l^2, & \text{при } 50 < l < 80 \text{ м}. \end{cases} \quad (12)$$

Таким образом, удельная ЭПР судна

$$\sigma^0 = \frac{\sigma}{S_{\Pi}} = \frac{\sigma}{0,1l^2}. \quad (13)$$

Соответственно ЭПР цели в элементе разрешения определяется выражением

$$\sigma_{ц1} = \sigma^0 \Delta x \Delta y. \quad (14)$$

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ ПРИЕМНИКА РСА

Мощность собственных шумов приемника РСА определяется выражением [5]

$$P_{ш. прм} = k \Delta f_{ш} T_0 (k_{ш} - 1) \quad (15)$$

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

$\Delta f_{ш}$  – шумовая полоса пропускания приемника, Гц;

$T_0$  – абсолютная температура приемной системы, К ( $T_0=290$  К);

$k_{ш}$  – коэффициент шума приемника.

При расчетах коэффициент шума принимается равным от 1 до 3 [6].

## РАСЧЕТ МОЩНОСТИ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ НА ВХОДЕ РСА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗОН РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПОМЕХ ОТНОСИТЕЛЬНО ДНА РСА

### Описание помех

При расчете мощности непреднамеренных помех на входе РСА необходимо учитывать различие в частотных диапазонах РСА и источника непреднамеренных помех (ИНП). При этом непреднамеренная помеха будет иметь маскирующие свойства и может быть заградительной или прицельной по частоте.

*Заградительная помеха* по какому-либо параметру – это помеха, диапазон значений соответствующих параметров которой одновременно перекрывает некоторый диапазон возможных значений параметров одного или нескольких подавляемых радиоэлектронных средств (РЭС), расположенных в данном районе.

*Прицельная* по какому-либо параметру **радиопомеха** – это помеха, соответствующий параметр которой совпадает с заданной точностью с параметром сигнала подавляемого РЭС.

Ширина спектра прицельной по частоте помехи соизмерима (равна или в 1,5 – 2 раза превышает) ширину спектра сигнала подавляемого РЭС. В результате уровень мощности прицельной по частоте помехи оказывается значительно больше уровня заградительной помехи.

### Определение мощности маскирующей помехи $P_n$ на входе приемника РСА

Взаимное расположение объекта, ИНП и РСА приведено на рис. 7.

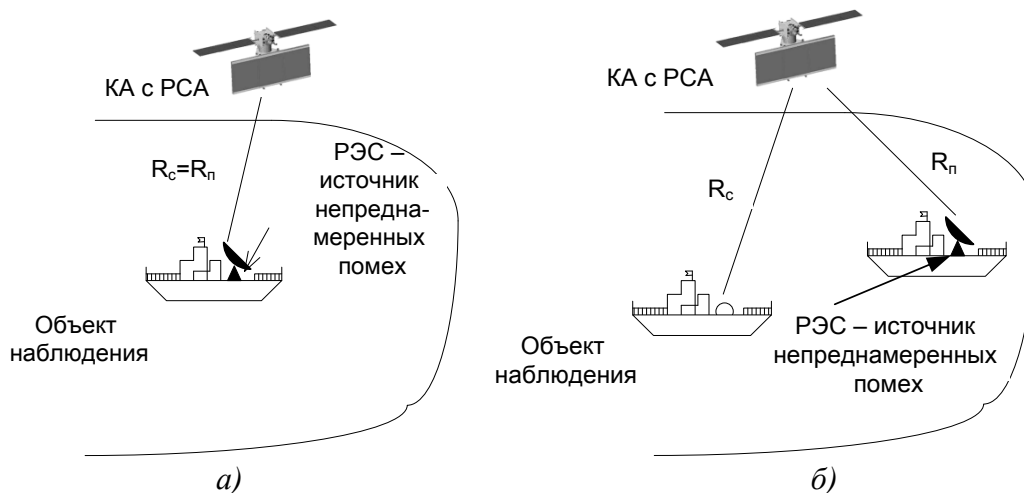


Рис. 6. Взаимное расположение объекта, ИНП и РСА:

*а – ИНП на борту объекта и РСА принимает помеху по основному лепестку диаграммы направленности антенны; б – ИНП на борту объекта прикрытия и РСА принимает помеху по боковому лепестку диаграммы направленности антенны*

Мощность помехи на входе приемника РСА определяется выражением [1, 3]

$$P_{\text{пвх}} = \frac{P_n D_n D_c g_c(\alpha) \lambda^2 \gamma \beta}{(4\pi R_n^2)^2 L(R_n)}, \quad (16)$$

где  $P_n$  – излучаемая мощность ИНП, Вт;

$D_n$  – коэффициент направленного действия антенны ИНП;

$R_n$  – наклонная дальность от ИНП до цели, м;

$g_c(\alpha)$  – коэффициент, определяющий уровень боковых лепестков нормированной диаграммы направленности приемной антенны РСА;

$L(R_n)$  – затухание радиоволн в прямом направлении от ИНП до РСА, которое определяется по [4].

**При определении мощности непреднамеренной помехи учитываются:**

– различия сигналов и помех по поляризации. Степень этого различия определяется коэффициентом  $\gamma$ , который принимает значения от 0 до 1. Если различия по поляризации не установлены, то принимают  $\gamma = 0,5$ ;

– различия сигналов и помех по частотному спектру. Это различие учитывается коэффициентом различия по частоте  $\beta$ , который определяется выражением

$$\beta = \frac{\Delta f_c}{\Delta f_n}, \quad (17)$$

где  $\Delta f_c$  – полоса частот сигнала, Гц;

$\Delta f_n$  – полоса частот ИНП (прицельной или заградительной), Гц;

– различие зон расположения источников помех:

1) ИНП расположен на объекте наблюдения, и, следовательно, непреднамеренная помеха может воздействовать по основному лепестку диаграммы направленности РСА, а  $g_c(\alpha)=1$ ;

2) ИНП расположен вне объекта наблюдения, и, следовательно, непреднамеренная помеха может воздействовать по боковым лепесткам, а  $g_c(\alpha)$  определяется по техническим характеристикам РСА;

– виды возможных непреднамеренных помех: маскирующая прицельная или маскирующая заградительная.

Если ИНП создает *прицельную* по частоте помеху  $\Delta f_n = \Delta f_{n. \text{приц}}$ , то ширина спектра такой помехи определяется исходя из условия

$$\Delta f_{n. \text{приц}} = (1.5 \div 2) \Delta f_c. \quad (18)$$

Если ИНП создает *заградительную* по частоте помеху  $\Delta f_n = \Delta f_{n. \text{загр}}$ , то ширина спектра такой помехи определяется исходя из условия

$$\Delta f_{n. \text{загр}} \gg (1.5 \div 2) \Delta f_c. \quad (19)$$

При наличии в зоне наблюдения нескольких источников непреднамеренных помех для дальнейших расчетов вычисляется суммарная мощность помех на входе приемника РСА, определяемая выражением

$$P_{\text{сум}} = \sum_{m=1}^M P_{pi}, \quad (20)$$

где  $m$  – количество источников активных помех,  $m=1 \dots M$ .

**Определение мощности сигнала на входе приемника РСА, отраженного от морской поверхности**

Для определения мощности сигнала, отраженного от морской поверхности  $P_{\phi 1}$  в одном элементе разрешения на входе согласованного фильтра приемника РСА используется выражение [1, 22]

$$P_{\phi 1} = \frac{P_c D_c^2 \sigma_{\phi 1} \lambda^2}{(4\pi)^3 R_c^4 L (R_c)^2}, \quad (21)$$

где  $\sigma_{\phi 1}$  – эффективная площадь рассеяния фона в элементе разрешения, м<sup>2</sup>; остальные параметры аналогичны параметрам выражения (5).

ЭПР фона в элементе разрешения определяется выражением [1]

$$\sigma_{\phi 1} = \sigma_{\phi}^0 \Delta x \Delta y, \quad (22)$$

где  $\sigma_{\phi}^0$  – удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР) подстилающей поверхности;

$\Delta x, \Delta y$  – линейное разрешение РСА по координатам на местности вдоль и поперек линии пути.

Учитывая технические характеристики РСА и условия наблюдения за объектом, значения  $\Delta x, \Delta y$  определяются следующими выражениями:

– разрешение поперек линии пути в РСА для строго бокового обзора определяется через разрешение по наклонной дальности  $\Delta r$  и угол падения  $\gamma_i$ :

$$\Delta y = \frac{\Delta r}{\sin \gamma_i} = \frac{c}{2\Delta f_c \sin \gamma_i}; \quad (23)$$

– разрешение вдоль линии пути в РСА

$$\Delta_x = \frac{R\lambda}{2L_s}, \quad (24)$$

где  $R$  – наклонная дальность до цели, м;

$L_s$  – длина синтезированной антенны, м.

Морская поверхность имеет неравномерности, соизмеримые или превышающие длину волны РСА. Они дают диффузное отражение во все стороны, в том числе и в направлении РСА. Морская поверхность при шторме с среднеквадратическим отклонением  $\sigma_h$  от плоскости идеализированной спокойной водной глади, значительно превышающем длину волны РСА  $\lambda$  ( $\sigma_h \gg \lambda$ ), характеризуется диффузным обратным рассеянием, близким к закону Ламберта  $\sigma_{\phi}^0 \sim \cos(\gamma_i)$  [1].

Значение среднеквадратического отклонения  $\sigma_h$  по шкале Бофорта для волнения моря, равного 6 баллам, составляет 3 м [7].

При проведении расчетов УЭПР  $\sigma_{\phi}^0$  определяется из табл. 2 или рис. 10 [1]. В табл. 2 угол скольжения определяется следующим образом:  $\phi = 90 - \gamma_i$ .

Таблица 2

**Удельная ЭПР морской поверхности при разных длине волны, поляризации и углах падения**

Объекты	Угол скольжения $\psi$	$\lambda=3$ см		$\lambda=10$ см		$\lambda=23$ см		$\lambda=70$ см	
		ГГ	ВВ	ГГ	ВВ	ГГ	ВВ	ГГ	ВВ
Море, волнение 2 балла	10	-40	-32	-42	-40	-45	-45	-50	-50
	20	-38	-28	-39	-35	-40	-40	-45	-45
	50	-35	-30	-36	-33	-38	-36	-35	-35
Море, волнение 6 баллов	10	-35	-30	-33	-30	-30	-30	-35	-35
	20	-30	-25	-29	-25	-29	-25	-32	-32
	50	-27	-22	-27	-22	-28	-23	-30	-30

### Исследование влияния непреднамеренных помех на вероятность обнаружения морских объектов (кораблей) радиолокаторами ДЗЗ космического базирования

При проведении исследований использовались следующие исходные данные:

- **исходные данные по РСА:**  $P_c=280$  кВт;  $D_c=33.495$  дБ;  $R_c=672.681$  км;  $\lambda=0.07$  м;  $P_{лт}=10^{-7}$ ;  $\Delta x=30$  м,  $\Delta y=30$  м;  $H=450$  км;  $L_{н. обз}=300$  км;  $N_{и}=104$ ;  $\tau_{и}=3.9 \cdot 10^{-4}$  с;  $\Delta f_c=10.64$  МГц;
- **исходные данные по наблюдаемому объекту:**  $\theta=5$  град;  $l=121$  м;  $\bar{\sigma}_\theta=3 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup>;  $\bar{\sigma}_n=6 \cdot 10^3$  м<sup>2</sup>;  $L_{об. набл}=200$  км;
- **исходные данные по фону:**  $\sigma_\phi^0=-30$  дБ.
- **исходные данные по источнику непреднамеренных помех:**  $P_{п}$   $D_{п}=1.26 \cdot 10^6$  дБ;  $\Delta f_{п\text{принц}}=1.5 \cdot \Delta f_c$ ;  $L_{ИНП}=29$  км;  $\theta_{ОН\_ИНП}=176$  град;  $R_{п}=651.468$  км.

При изменении расстояния  $L_{ИНП}$  от объекта наблюдения до ИНП от 0 до 200 км получен график зависимости вероятности обнаружения от  $L_{ИНП}$ , представленным на рис. 7.

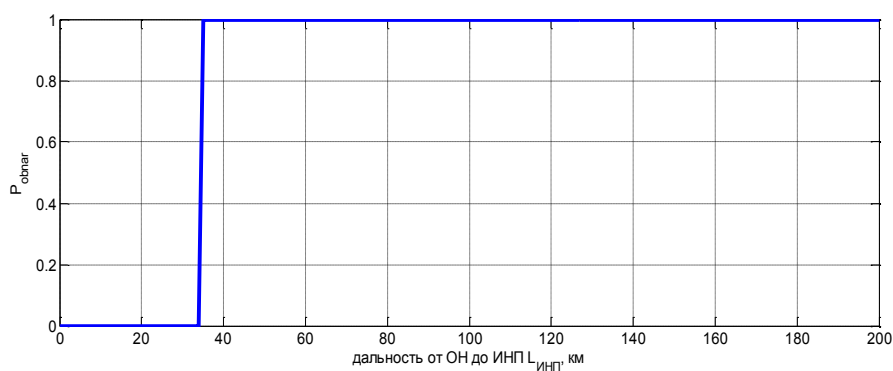


Рис. 7. Зависимость вероятности обнаружения объекта от изменения дальности от объекта наблюдения до источника непреднамеренных помех в азимутальной плоскости

Исходя из анализа представленного графика, можно сделать следующий вывод: при расположении ИНП в непосредственной близости к объекту наблюдения (от 0 до 38 км) непреднамеренная помеха действует по основному лепестку ДНА РСА, и вероятность обнаружения объекта равна нулю. По мере удаления ИНП от объекта влияние помехи ослабевает, так как помеха действует не по основному, а по боковым лепесткам ДНА, и вероятность обнаружения объекта становится равной единице. Осредненное значение вероятности обнаружения составляет  $P_{оср}=0,83$ .

При изменении угла ракурса  $\theta_{ОН\_ИНП}$  между объектом наблюдения и ИНП от 0 до 180 град получен график зависимости вероятности обнаружения от  $\theta_{ОН\_ИНП}$ , показанный на рис. 8.

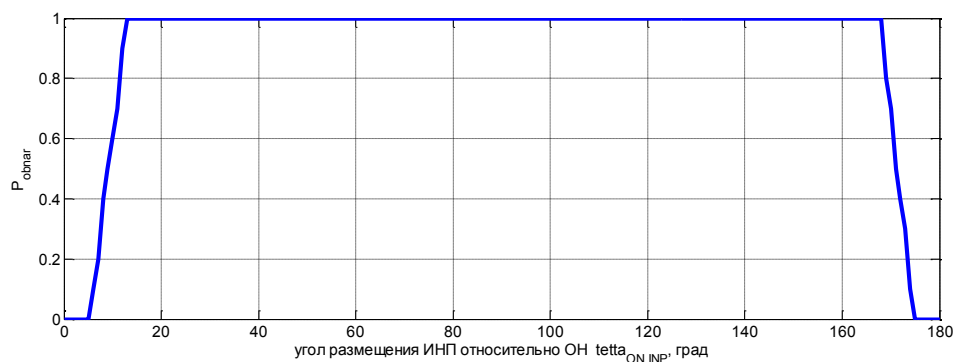


Рис. 8. Зависимость вероятности обнаружения объекта от изменения угла ракурса объекта наблюдения до источника непреднамеренных помех в азимутальной плоскости

На основе анализа графика рис. 8 можно сделать следующий вывод: при выбранном расположении ИНП и углах, равных от 0 до 5 град и от 175 до 180 град, вероятность обнаружения объекта равна 0, так как ИНП оказывает влияние на приемник РСА по основному лепестку ДНА. При углах, равных от 5 до 15 град, вероятность обнаружения возрастает и достигает 1. При углах, равных от 15 до 175, вероятность обнаружения равна 1 (ИНП действует по боковым лепесткам ДНА РСА), а при углах от 170 до 175 град – снижается до 0. Осредненное значение вероятности обнаружения составляет  $P_{\text{оср}}=0,9$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлена методика оценки воздействия непреднамеренных помех на радиолокаторы ДЗЗ космического базирования, в которой приведен порядок расчета вероятности обнаружения объекта в морских акваториях с учетом различных метеоусловий. Также проведено исследование влияния непреднамеренных помех на вероятность обнаружения морских объектов (кораблей) радиолокаторами ДЗЗ космического базирования при изменяющихся параметрах, к которым относятся:  $L_{\text{инп}}$  – расстояние от объекта наблюдения до ИНП и  $\theta_{\text{он\_инп}}$  – угол ракурса  $\theta_{\text{он\_инп}}$  между объектом наблюдения и ИНП. При проведении исследований установлено, что при решении задачи обнаружения объекта на морской поверхности возможна ситуация пропуска объекта при действии в зоне наблюдения мощных источников непреднамеренных помех.

## Список используемых источников

1. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Туру; под ред. В.С. Вербы. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы /пер. с английского под ред. В.С. Кельзона. – М.: Советское радио, 1971. – 568 с.
3. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / А.А. Коростелев, Н.Ф. Ключев, Ю.А. Мельник и др.; под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.
4. Спутниковая связь и вещание: справочник / под ред. Л. Я. Кантора. – 3-е изд. – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.
5. Гришин Ю.П., Ипатов В.П., Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
6. Посохин Н.И., Сонников В.Г., Максимов Ю.Н. Радиоэлектронная борьба. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2004. – 524 с.
7. Дулевич В.Е. Информационные свойства радиолокационных систем. – Л.: ЛВИКА им. А.Ф.Можайского, 1970. – 211 с.

А.В. Калгин,  
кандидат техн. наук, доцент  
А.М. Шевчук  
кандидат техн. наук, доцент

## МЕТОДЫ ВЫБОРА СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И СРЕДСТВ АКТИВНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРОТИВНИКА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИГР

Изложены варианты основ математических методов выбора средств поражения и средств активного противодействия воздействию средств поражения сторонами военного конфликта  $X$  и  $Y$ . Исходные данные представлены в виде известных матриц теории игр. По предложенным методикам на примерах показаны решения задач, стоящих перед сторонами военного конфликта по применению средств поражения по объектам и контрсредств поражения. Получены необходимые рекомендации по выбору типа средств поражения и контрсредств поражения, обеспечивающие наилучшее решение боевых задач сторонами военного конфликта  $X$  и  $Y$ .

Ключевые слова: средства поражения, средства активного противодействия, стратегия, контрсредства поражения, матрица игры, седловая точка.

### ВВЕДЕНИЕ

Для повышения качества и эффективности результатов решения задачи по разработке методов выбора средств поражения объекта и средств активного противодействия воздействию средств поражения противника следует рассмотреть востребованные в решении данной задачи отдельные положения математической теории игр.

В общем виде постановка задачи математической теории игр осуществляется в следующем порядке [1]:

- имеется некоторая операция (целенаправленное действие), в которой участвуют две стороны  $X$  и  $Y$  с противоположными интересами;
- имеются правила игры, регламентирующие результаты, к которым приводят результаты действий сторон;
- результаты действий сторон – выигрыши – выражены в количественной форме и обозначены  $x_{ij}$ , что означает математическое ожидание выигрыша стороны  $X$ , сделавшей свой  $i$ -й ход при  $j$ -м ходе стороны  $Y$ .

Условие игры обычно записывается в форме платёжной матрицы или матрицы игры (табл.1).

Таблица 1

Матрица игры

$X_i$	$Y_j$				$\alpha_i$
	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_n$	
$X_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1n}$	$\alpha_1$
$X_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2n}$	$\alpha_2$
...	...	...	...	...	...
$X_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mn}$	$\alpha_m$
$\beta_i$	$\beta_1$	$\beta_2$	...	$\beta_n$	

В данной игре сторона  $X$  имеет  $m$  стратегий, а сторона  $Y$  –  $n$  стратегий (игра  $m \times n$ ).

Необходимо найти оптимальные стратегии сторон, а также ожидаемый средний выигрыш (результат).

При решении задач игры встречаются следующие понятия:

–  $\alpha = \max_i \alpha_i = \max \min_{j} a_{ij}$  – максимин, или нижняя цена игры,

–  $\beta = \min_j \beta_j = \min \max_i a_{ij}$  – минимакс, или верхняя цена игры.

Получение максимина и минимакса понятно из рассмотрения матрицы игры (табл. 1).

В тех случаях, когда  $\alpha = \beta$ , игра имеет *седловую точку* – элемент матрицы, являющийся одновременно минимальным в своей строке и максимальным в своём столбце.

Общее значение нижней и верхней цены игры  $\alpha = \beta = v$  называется чистой ценой игры.

Седловой точке соответствует пара стратегий сторон (стратегии  $X_i$  и  $Y_j$ ), которые являются оптимальными. Совокупность этих стратегий называется решением задач игры в чистых стратегиях.

В тех случаях, когда  $\alpha \neq \beta$ , решение находится в смешанных стратегиях. Смешанными стратегиями называются такие, которые получаются путём случайного чередования чистых стратегий.

Смешанная стратегия стороны  $X$  обозначается  $S_X = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ , где  $p_1, p_2, \dots, p_m$  – вероятности, с которыми применяются стратегии  $X_1, X_2, \dots, X_m$ . Причём  $p_1 + p_2 + \dots + p_m = 1$ . Аналогично для стороны  $Y$ :  $S_Y = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ , где  $q_1 + q_2 + \dots + q_n = 1$ .

Решением задачи игры в смешанных стратегиях будет пара оптимальных смешанных стратегий, обозначенных  $S_X^*$  и  $S_Y^*$ . Выигрыш, соответствующий решению этой задачи, называется ценой игры  $v$ .

Применительно к играм  $2 \times 2$ :

$$p_1 = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}}; \quad (1)$$

$$p_2 = 1 - p_1; \quad (2)$$

$$q_1 = \frac{x_{22} - x_{12}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}}; \quad (3)$$

$$q_2 = 1 - q_1; \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} S_X^* &= (p_1, p_2); \\ S_Y^* &= (q_1, q_2). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Стратегии, входящие в оптимальную смешанную стратегию с вероятностями, отличными от нуля, называются активными. Цена игры в смешанных стратегиях определяется по формуле

$$v = \frac{x_{22}x_{11} - x_{12}x_{21}}{x_{11} + x_{22} - x_{12} - x_{21}}. \quad (6)$$

Игры  $2 \times 2$  имеет геометрическое решение, представленное на рис.1. Оно заключается в следующем:

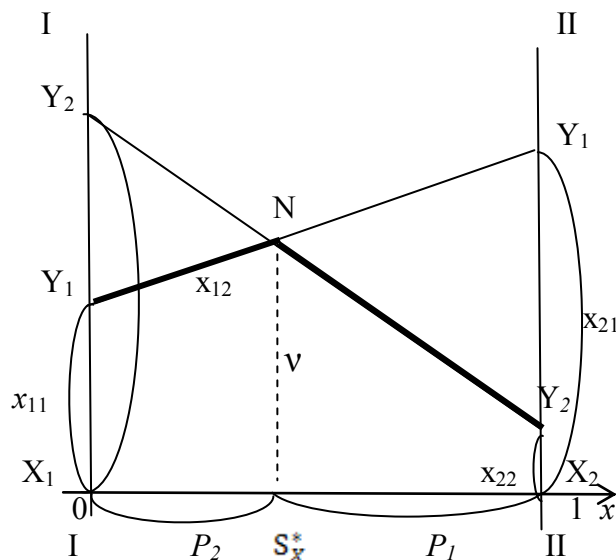


Рис.1. Геометрическое решение игры  $2 \times 2$

- на отрезке оси абсцисс длиной  $x=1$  левый конец участка ( $x=0$ ) изображает стратегию  $X_1$ , а правый ( $x=1$ ) – стратегию  $X_2$ ; промежуточные точки участка изображают смешанные стратегии стороны  $Y$ ;

- через точки  $X_1$  и  $X_2$  проводятся перпендикуляры к оси абсцисс: оси  $I-I$  и  $II-II$ . На оси  $I-I$  откладываются выигрыши при стратегии  $X_1$ , а на оси  $II-II$  – выигрыши при стратегии  $X_2$ ;

- стратегия противника  $Y_1$  даёт на осях  $I-I$  и  $II-II$  точки с координатами  $x_{11}$  и  $x_{21}$  соответственно, а стратегия  $Y_2$  – точки с координатами  $x_{12}$  и  $x_{22}$  соответственно;

- ордината точки  $N$  пересечения стратегий  $Y_1$  и  $Y_2$  даёт величину выигрыша  $v$  – цену игры. Абсцисса точки  $N$  даёт вероятности обеих стратегий  $p_1$  и  $p_2$ , которые равны расстояниям от точки  $S_x^*$  до правого и левого конца отрезка  $X_1X_2$  соответственно.

Нижняя (гарантированная) граница выигрыша выделена на рисунке жирной линией.

Методы выбора средств поражения объектов и средств активного противодействия воздействию средств поражения противника на основе математической теории игр приведены ниже.

## МЕТОД ВЫБОРА СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Сторона  $X$  военного конфликта имеет три типа средств поражения:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ . У стороны  $Y$  в заданном районе размещены три вида военных объектов:  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ , для поражения которых эти средства поражения предназначены [крылатые ракеты (средства доставки – самолёты), ракеты земля-земля (наземные мобильные средства базирования), ракеты морского базирования].

Задача стороны **X** военного конфликта – поразить объект с максимально возможной вероятностью. Задача стороны **Y** военного конфликта – сохранить объект при минимально возможной вероятности его поражения. Вероятность поражения *i*-м типом средства поражения *j*-го объекта  $p_{ij}$  задана платёжной матрицей.

Необходимо дать рекомендации по рациональному выбору типа средств поражения, обеспечивающие наилучшее решение боевой задачи стороной **X** при отсутствии данных о решении стороны **Y** о выборе ею объекта.

**Пример 1.** Условия заданы матрицей  $\|p_{ij}\|$ , содержащей значения вероятностей поражения *i*-м типом оружия *j*-го объекта (табл. 2).

Таблица 2

Матрица игры

Тип средства поражения, $X_i$	Вид объекта, $Y_j$			$\alpha_i$
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	
$X_1$	0,5	0,4	0,9	0,4*
$X_2$	0,2	0,9	0,1	0,1
$X_3$	0,8	0,0	1,0	0,0
$\beta_j$	0,8*	0,9	1,0	

Необходимо выбрать тип средства поражения, при применении которого вероятность поражения объекта будет по возможности наибольшей, что бы ни предпринимала сторона **Y**.

**Решение.** Выписываем справа минимум строк и из них выбираем наибольший  $x_1 = 0,4$  (отмечен звёздочкой). Это нижняя цена игры, или максимин. В следующем действии выписываем внизу максимумы столбцов и из них выбираем наименьший  $\beta_1 = 0,9$  (отмечен звёздочкой). Это верхняя цена игры, или минимакс.

Решение заключается в том, что необходимо систематически применять максимальную стратегию средства поражения типа  $X_1$ . При этом сторона **Y** гарантирует себе результаты не менее  $p = 0,4$ , что бы ни предпринимала сторона **Y** (её замыслы стороне **X** неизвестны). Для стороны **Y** наилучшая стратегия – выбор объекта вида  $Y_1$ ; при этом она гарантирует себе результат не более  $p = 0,8$  (чем больше вероятность поражения, тем для неё хуже).

В рассмотренном примере отсутствие седловой точки ( $\alpha \neq \beta$ ) означает то, что полученные рекомендации верны лишь для случая, когда сторона **Y** не располагает данными об избранном стороной **X** решении. Это так называемая неустойчивая стратегия. Если сторона **Y** получит каким-то способом данные о том, что сторона **X** планирует применять средства поражения типа  $X_1$ , она соответственно с правилом игры будет готовить к применению объект вида  $Y_2$  и тем самым улучшит свой результат до  $p = 0,4$ .

Соответственно в тех случаях, когда в подобной задаче сторона **Y** имеет сведения о выборе решения стороной **X**, необходимо искать решение поставленной задачи в смешанных стратегиях.

#### МЕТОД ВЫБОРА СРЕДСТВ АКТИВНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА

Сторона **Y** может применить три различных типа средств поражения:  $Y_1, Y_2, Y_3$ . Сторона **X** способна оказать противодействие средствам поражения стороны **Y**, применяя контрсредства поражения типов  $X_1, X_2, X_3$ . Задача стороны **X** – отразить средства поражения стороны **Y** с максимально возможной эффективностью. Задача стороны **Y** – преодолеть

противодействие контрсредств поражения стороны  $X$  с минимально возможными эффективностями своих средств поражения. Вероятности поражения  $i$ -м типом контрсредств поражения стороны  $X$   $j$ -го типа средства поражения стороны  $Y$   $p_{ij}$  заданы платёжной матрицей.

Необходимо дать рекомендации по рациональному выбору типа контрсредств поражения, обеспечивающие наилучшее решение боевой задачи стороной  $X$  при отсутствии данных о том, какие средства поражения применяет сторона  $Y$ .

**Пример 2.** Условия задачи представлены в виде матрицы, содержащей значения вероятностей поражения контрсредствами поражения  $i$ -го типа стороны  $X$  средств поражения стороны  $Y$   $j$ -го типа (таблица 3).

Таблица 3

Матрица игры  $\|p_{ij}\|$ 

Тип контрсредства поражения стороны $X$ , $X_i$	Тип средства поражения стороны $Y$ , $Y_j$			$\alpha_i$
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	
$X_1$	0,0	0,5	0,73	0,0
$X_2$	1,0	0,75	0,5	0,5*
$\beta_j$	1,0	0,75*	0,73	

Стороне  $X$  необходимо выбрать тип контрсредства поражения, обеспечивающий наибольшую возможную эффективность поражения средств поражения стороны  $Y$  независимо от того, какое средство поражения она применяет.

*Решение.* Выписываем справа минимумы строк и из них выбираем наибольший  $\alpha_2 = 0,5$  (отмечен звездочкой). Эта нижняя цена игры, или максимин. Далее выписываем внизу максимумы столбцов и из них выбираем наименьший  $\rho_2 = 0,75$  (отмечен звездочкой). Это верхняя цена, или минимакс.

Поскольку игра не имеет седловой точки ( $\alpha \neq \beta$ ), ищем решение в смешанных стратегиях. Осуществляем геометрическое решение (рис.2).

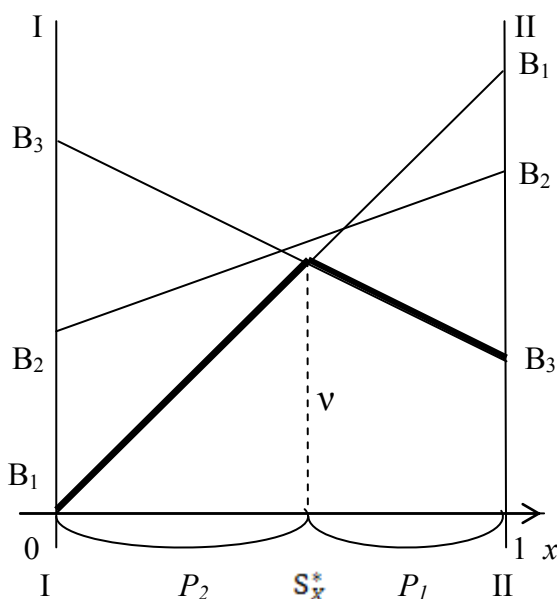


Рис.2. Геометрическое решение задачи в смешанных стратегиях

В соответствии с методикой, изложенной в начале статьи, находим нижнюю границу выигрыша, которая на рисунке выделена утолщенной линией. Из рисунка видно, что стратегия  $Y_2$  лежит выше этой границы. В связи с этим активными стратегиями стороны  $Y$  являются только стратегии  $Y_1$  и  $Y_2$ . Это обстоятельство сводит игру к игре  $2 \times 2$ , матрица которой приведена в табл. 4.

Таблица 4

Упрощенная матрица игры  $\|p_{ij}\|$ 

Тип контрсредств поражения стороны $X$ , $X_i$	Тип средства поражения стороны $B$ , $B_i$		
	$Y_1$	$Y_3$	$\alpha_i$
$X_1$	0,0	0,73	0,0
$X_2$	1,0	0,5	0,4*
$\beta_j$	1,0	0,73*	

Численное решение данной игры в смешанных стратегиях находится следующим образом:

– по формуле (1)  $p_1 = \frac{0,4 - 0,95}{0,5 + 0,4 - 0,73 - 0,95} = 0,406;$

– по формуле (2)  $p_2 = 1 - 0,406 = 0,594;$

– по формуле (3)  $q_1 = \frac{0,4 - 0,73}{0,5 + 0,4 - 0,73 - 0,05} = 0,195;$

– по формуле (4)  $q_2 = 1 - 0,195 = 0,805;$

– по формуле (6)  $v = \frac{0,4 \cdot 0,05 - 0,73 \cdot 0,95}{0,05 + 0,4 - 0,73 - 0,95} = 0,547;$

– по формулам (5)  $S_X^* = (0,406; 0,594); S_Y^* = (0,195; 0,805).$

Решение показывает преимущество (относительную ценность) контрсредств поражения  $X_2$  (59,4 %) по сравнению с контрсредствами поражения  $X_1$  (40,6 %).

Реализация решения в смешанных стратегиях в данном случае должна производиться путём так называемой физической смеси стратегий. Это означает, что на носителе контрсредств поражения последнее должно находиться в пропорциях, соответствующих компонентам смешанной стратегии. Носитель должен иметь:

- контрсредств поражения  $X_1$  – 40,6 %,
- контрсредств поражения  $X_2$  – 59,4 %.

**Список используемых источников**

1. *Нейман Д., Моргенштерн Ф.* Теория игр и экономическое поведение. – М.: Мир, 1964.
2. *Карлин С.* Математические методы в теории игр, программировании и экономике. – М.: Мир, 1970.
3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969.

В.А. Кежаев,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Е.А. Гончаров

## **ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА**

Рассмотрены актуальные вопросы оценивания эффективности информационного обеспечения высокоточного оружия. Наибольшее внимание уделено проблеме использования современных информационных технологий для решения возникших задач. Предлагаются новые подходы к преодолению противоречий, от успешного решения которых зависит эффективность применения высокоточного оружия.

Ключевые слова: эффективность, высокоточное оружие, информация, энтропия, количество информации, статистическая теория информации, критерий, звено передачи информации.

Анализ состояния рода войск, тенденций его развития, проведенный с учетом показателей полноты, оперативности и качества реализации боевых возможностей, свидетельствует о том, что в настоящее время существует объективная потребность в совершенствовании системы управления. Перспективным направлением реализации этой потребности является внедрение в управление современных технологий обработки информации с применением штатных и нештатных средств автоматизации управления. Штабы уже сейчас имеют вычислительные средства, на основе которых создаются автоматизированные рабочие места должностных лиц для управления повседневной деятельностью войск, для проведения мероприятий оперативной и боевой подготовки.

Однако должностными лицами штабов в автоматизированном режиме реализуется лишь малая часть возложенных на них задач. Решение расчетных и информационных задач управления, обеспечивающих реализацию офицерами штабов своих функций, осуществляется, в основном, при планировании огневого поражения противника. Слабым звеном в работе штабов остается поддержка управленческих решений. Особую сложность при этом вызывает оценивание эффективности информационного обеспечения высокоточного оружия.

Оперативный состав штабов по уровню подготовки не может в полном объеме выполнять комплекс мероприятий по автоматизации управления. Офицеры рода войск вынуждены прилагать огромные усилия, тратить время на добывание, передачу, обработку, осмысление, сопоставление и анализ больших объемов информации. Однако лишь 10–15 % поступающей командиру (начальнику) информации реализуется в процессе обоснования его действий. Происходит неоправданное, нерациональное использование ограниченных ресурсов, снижается оперативность реагирования на быстро меняющуюся ситуацию на поле боя, существует постоянная угроза больших потерь личного состава, вооружения и военной техники.

Следовательно, налицо противоречие между сложностью решаемых проблем и неразвитостью имеющихся в распоряжении офицеров штабов методов и средств. У них просто нет возможности внести творческий вклад в решение проблем, появляется тенденция к подмене управления администрированием, возрастает влияние субъективного фактора. Наиболее актуальной с этой точки зрения является проблема объединения интеллектуальных способностей человека и вычислительных возможностей ЭВМ на основе рационального распределения функций между ними в процессе управления. Однако сложность проблемы усугубляется тем, что методы оценки эффективности каждой из компонент находятся в стадии формирования. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть подход к оценке эффективности информационных элементов АСУ с использованием критериев и методов теории информации.

При передаче некоторого сообщения возможны два основных состояния системы управления:

- сообщение получено адресатом, и принятая информация использована для оптимизации решения или действия;
- сообщение своевременно не получено, и решение принято (или действие произведено) без учета содержащейся в нем информации.

Эффективность звена передачи информации при этом определяется выражением

$$\chi = \left( 1 - \frac{U_{\text{св}}^-}{U_{\text{св}}^+} \right) P_{\text{св}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{св}}^-$  – значение показателя эффективности действия формирований при условии, что сообщение своевременно не принято;

$U_{\text{св}}^+$  – значение того же показателя при условии, что сообщение принято вовремя;

$P_{\text{св}}$  – вероятность своевременного получения сообщения.

Выражение в скобках характеризует боевую эффективность звена связи и зависит от количества и важности передаваемой информации, а  $P_{\text{св}}$  определяет техническую эффективность этого звена и зависит в основном от своевременности и надежности связи.

Рассмотрим вопросы, относящиеся к проблеме исследования боевой эффективности информационных звеньев и подсистем, входящих в автоматизированную систему управления.

Зависимость успешности решения задачи управления от наличия информации очевидна. При этом не всегда осознается сложность применения методов, используемых в приложениях теории информации. Это обусловлено тем, что в статистической теории информации понятие "количество информации", будучи формально математическим, не учитывает качества передаваемой информации, ее смысла и ценности в зависимости от обстановки и выполняемых задач, т. е. не позволяет измерить количественно важность того или иного сообщения.

Тем не менее методы статистической теории информации в некоторых частных случаях могут быть использованы вполне обоснованно. Если, например, необходимо оценить эффективность канала связи подсистемы, добывающей и передающей информацию о состоянии некоторого элемента обстановки  $\xi$  в виде сообщения  $\lambda$ , то количество информации  $I(\xi)$ , передаваемой подсистемой, является, очевидно, одним из основных показателей ее эффективности. Это количество информации численно равно разности энтропий:

$$I(\xi) = H(\xi) - \overline{H}(\xi), \quad (2)$$

где  $H(\xi)$ ,  $\overline{H}(\xi)$  – соответственно априорная и апостериорная энтропия элемента  $\xi$ .

В теории информации энтропия используется в качестве меры неопределенности и выражается соответствующими аналитическими зависимостями. В данном случае имеется в виду неопределенность в оценке текущего состояния элемента  $\xi$ , которая возникает на стороне получателя сообщения до и после его приема.

Использовать количество информации  $I(\xi)$  как показатель эффективности нецелесообразно, так как эта величина сравнительная, а не абсолютная. Поэтому воспользуемся энтропией, полагая, что

$$U_{\text{св}}^- = H(\xi); \quad U_{\text{св}}^+ = \overline{H}(\xi). \quad (3)$$

С учетом выражения (3) эффективность звена передачи информации можно представить в виде

$$\chi = \frac{H(\xi) - \overline{H}(\xi)}{H(\xi)}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что эффективность является объективным безразмерным критерием. Он не зависит от выбора единиц информации, от степени дискретизации элемента обстановки  $\xi$  и от выбора размерности алфавита, используемого при вычислении энтропии.

Целесообразнее воспользоваться вместо языкового алфавита формулярным. При этом источник информации представляет собой некоторый изменяющийся элемент обстановки  $\xi$  вместе с подсистемой, добывающей и передающей информацию. У ее потребителя этот элемент обстановки отражается в символическом виде  $\lambda$  с той же степенью дискретизации.

Такое построение алфавита дает существенные преимущества. Если энтропия источника языковой информации вычисляется в соответствии со статистической структурой языка, то энтропия источника формулярной информации учитывает статистическую структуру данного элемента обстановки (координат движущегося объекта, пересеченности местности, задымленности атмосферы и т. п.).

Вычисленная таким образом энтропия имеет важные свойства:

- уменьшается с повышением точности и достоверности источника информации;
- не изменяется, если сообщение не обладает новизной;
- увеличивается при рассеивании случайной величины  $w$  во времени.

Последнее обстоятельство позволяет учитывать количественно процесс старения информации, что очень существенно, например, в условиях сбора разведывательной информации о подвижных средствах поражения.

Таким образом, энтропийный подход применим к оценке эффективности информационного обеспечения высокоточного оружия, а также к оценке эффективности информационных звеньев и подсистем АСУ. Рассмотренный метод может быть использован и в исполнительном звене системы управления при оценке эффективности канала командной связи. При этом за источник информации принимается исполнитель вместе с тем элементом обстановки, на который он воздействует по команде органа управления, а энтропия вычисляется относительно отправителя сообщения (органа управления). В данном случае она выражает неопределенность в реализации приказа исполнителем, которая, как правило, всегда существует в органе управления как до, так и после передачи приказа.

#### Список используемых источников

1. *Кежаев В.А., Марков С.В.* Проблемные аспекты оценивания эффективности поражения группового объекта высокоточными боеприпасами автономного наведения и пути их преодоления // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук: журнал. – М.: РАРАН, 2011. – Вып. 5(71). – С. 66–76.
2. *Советов Б.Я.* Теория информации. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. – 184 с.

В.А. Кежаев,  
*доктор техн. наук; профессор;*  
С.Н. Медведский,  
*кандидат техн. наук, доцент*

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АППАРАТНО – ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Рассматривается современное состояние дел в области разработки систем поддержки принятия решений. Особое внимание обращается на анализ перспективных направлений внедрения технологии поддержки принятия решений в аппаратно-программные комплексы автоматизированного управления. Предлагаются варианты решения задач, характерных для рассматриваемой предметной области.

Ключевые слова: решения, системы поддержки принятия решений, комплексы автоматизированного управления, аппаратно-программные комплексы, параметрический ряд, сетевой граф, кратчайший путь.

Необходимость внедрения технологии поддержки принятия решений в аппаратно-программные комплексы автоматизированного управления обусловлена их сложностью, неоднозначностью и диктуется рядом причин:

- моральным старением эксплуатируемых средств автоматизации управления вследствие ускорения научно-технического прогресса;
- инерцией производства, не позволяющей мгновенно переключаться на производство новой техники;
- ограниченными экономическими возможностями, не позволяющими непрерывно обновлять технические средства по мере разработки новых образцов;
- обусловленным этими обстоятельствами ростом типажа средств автоматизации управления (изделий), находящихся в эксплуатации.

Вследствие этих причин возникает проблема поиска новых направлений в моделировании процесса развития средств автоматизации управления, в частности, связанных с выбором оптимального соотношения между временем замены средств и суммарной стоимостью всего ряда изделий на некотором временном интервале. Для решения предлагается использовать динамическую модель.

Ввиду сложности динамических моделей нередко приходится ограничиваться анализом некоторых частных случаев, специфика которых позволяет построить достаточно эффективные алгоритмы. В большинстве работ исследуются задачи, в которых анализируются алгоритмы выбора порядка замены изделий одного типа, в крайнем случае – двух типов. Наиболее полно в теоретическом отношении разработана динамическая задача. Была предложена модель выбора оптимального динамического ряда, включающего несколько типов изделий. Рассматриваются варианты постановок задачи такого типа, в которых учитываются некоторые специфические особенности как параметрических рядов, так и самих задач стандартизации. Затраты на производство и эксплуатацию единицы изделия не зависят от промежутка времени, в котором оно используется. Кроме того, предполагается, что если изделие поставлено на производство, то до конца рассматриваемого интервала оно с производства не снимается. Внутри интервала его можно заменить изделиями этого же типа.

При анализе традиционно сложных с вычислительной точки зрения прикладных задач целесообразно применять методы, позволяющие использовать накопленный опыт решения

других, достаточно полно изученных задач. С учетом этого предлагается динамическую задачу оптимизации параметрических рядов редуцировать к задаче о кратчайшем пути в ориентированном сетевом графе. Практика показала, что сетевой подход эффективен при решении многих прикладных задач, так как позволяет использовать известные, проверенные на практике модели задач и развитое математическое обеспечение ЭВМ.

Динамическая задача может быть сформулирована как задача выбора двухпараметрического ряда. Имеется множество изделий, каждое из которых характеризуется параметрами  $(u_i, t_j)$   $i = \overline{1, M}$ ,  $j = \overline{1, N}$  при условии, что

$$\begin{aligned} u_1 < u_2 < \dots < u_i < \dots < u_M; \\ t_1 > t_2 > \dots > t_i > \dots > t_N. \end{aligned} \quad (1)$$

Параметр  $u_i$  является основным параметром изделия, например, частотой процессора, пропускной способностью сети, объемом памяти и т. д. Поэтому под изделием с параметром  $u_i$ , будем понимать изделие  $i$ -го типа.

Параметр  $t_j$  характеризует начало момента выпуска изделий данного типа. Величина  $t_j$  определяется выражением  $t_j = \frac{T}{N}(N - j)$ , где  $T$  – интервал времени, состоящий из  $1, 2, \dots, j, \dots, N$  промежутков времени.

Началу каждого промежутка поставлен в соответствие параметр  $t_j$ :

$$\begin{aligned} 0 = t_N, \quad 1 = t_{N-1}, \quad 2 = t_{N-2}, \dots, \quad j+1 = t_{j+1}, \quad j = t_j, \\ j-1 = t_{j-1}, \dots, \quad N-1 = t_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Под изделием с параметром  $t_j$  будем понимать изделие, выпуск которого начался в промежутке времени  $t_j$ .

Заданы: матрица  $\|b_{ij}\|$  потребностей в изделиях с параметрами  $(u_i, t_j)$ ; матрица  $\|c_{ij}^0\|$  постоянных затрат, связанных с разработкой и вводом в действие изделий с параметрами  $(u_i, t_j)$ ; матрица  $\|C_{ij}\|$  затрат, связанных с производством и эксплуатацией единицы образца изделия с параметрами  $(u_i, t_j)$ .

Затраты  $c_{ij}$  для любого  $i = \overline{1, 2, \dots, M}$  меняются дискретно в каждом промежутке времени  $t_j$  ( $j = \overline{1, N}$ ), что обусловлено усовершенствованием и отработкой технологии производства, накоплением опыта эксплуатации в предыдущих промежутках. При оптимизации динамического ряда возможны случаи, когда в моменты  $t_\tau$  ( $\tau = \overline{1, j_0}$ ) выгодно не производить изделия  $i_0$ -го типа, выпущенные в промежутке  $t_{j_0}$ . Обычно принято считать  $c_{ij} = c_{i_0 j_0} = \text{const}$  для всех  $t_\tau$  ( $\tau = \overline{1, j_0}$ ). Назовем этот случай задачей с постоянной стоимостью ( $i_0, j_0$  – фиксированные значения величин  $i, j$ ).

В общем случае в моменты  $t_\tau (\tau = \overline{1, j_0})$  следует учитывать изменение затрат на эксплуатацию, что приведет к изменению величины затрат  $c_{ij}$ . Такого типа задачу назовем задачей о переменной стоимости. Переменные затраты задаются совокупностью  $i_0 = \overline{1, M}$  матриц вида  $\|c_{j_0\tau}\| (j_0 = \overline{1, N}; \tau = \overline{1, j_0})$ . Для их элементов выполняется условие  $c_{i_0(j_0\tau)} \geq c_{i_0(j_0, \tau-1)}$ . Здесь  $i_0$  – порядковый номер матрицы  $c_{j_0\tau}$  (тип изделия);  $j_0$  – номер промежутка начала выпуска изделия с параметрами  $(u_{i_0}, t_{j_0})$ ;  $\tau$  – номер промежутка, в котором используется изделие  $(u_{i_0}, t_{j_0})$  в матрице  $\|c_{j_0\tau}\|$ .

Функция затрат на разработку, ввод в действие, производство и эксплуатацию изделий с параметрами  $(u_i, t_j)$  в зависимости от количества  $z_{ij}$  выпускаемых изделий задана в виде

$$c_{ij}(z_{ij}) = \begin{cases} c_{ij}^0 + c_{ij} z_{ij} & \text{при } z_{ij} > 0; \\ 0 & \text{при } z_{ij} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

При этом затраты  $c_{ij}^0, c_{ij} (i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N})$ , во-первых, не убывают с ростом  $j$ , т.е. для всякого

$$i = 1, 2, \dots, M; \quad c_{i,1}^0 \leq c_{i,2}^0 \leq \dots \leq c_{i,N}^0; \quad c_{i,1} \leq c_{i,2} \leq \dots \leq c_{i,N},$$

и, во-вторых, не убывают с ростом  $i$ , т.е. для всякого

$$j = 1, 2, \dots, N; \quad c_{1,j}^0 \leq c_{2,j}^0 \leq \dots \leq c_{M,j}^0; \quad c_{1,j} \leq c_{2,j} \leq \dots \leq c_{M,j}.$$

Для задачи с переменной стоимостью в  $i$ -й матрице  $\|c_{j_0\tau}\|$  элементы диагонали являются соответствующей ( $i$ -й) строкой матрицы  $\|c_{ij}\|$ , следовательно,

$$c_{i_0(1,1)} \leq c_{i_0(2,2)} \leq \dots \leq c_{i_0(\tau=j_0 j_0)} \text{ для любого } i_0 = 1, 2, \dots, M.$$

Необходимо найти ряд изделий  $k = \overline{1, K} (K \leq M \times N)$  с параметрами  $W = \{(u_{i_1}, t_{j_1}), (u_{i_2}, t_{j_2}), \dots, (u_{i_k}, t_{j_k}), \dots, (u_{i_K}, t_{j_K})\}$ , который полностью обеспечивает заданные потребности при минимальных суммарных затратах и выполнении условия – изделие с параметрами  $(u_{i_k}, t_{j_k}) k = \overline{1, K}$  может быть использовано для удовлетворения спроса в изделиях с параметрами  $u_i \leq u_{i_k}, t_j \geq t_{j_k} (i \leq i_k, j \leq j_k)$ . Например, электродвигатель мощностью два киловатта может быть использован для обеспечения потребностей в электродвигателях меньшей или равной мощности, спрос на которые необходимо удовлетворить после начала момента его выпуска.

Математически задача формулируется следующим образом. Требуется определить параметрический ряд изделий  $W$ , который минимизирует функцию

$$C(W) = \sum_{k=1}^K (c_{i_k j_k}^0 + c_{i_k j_k} z_{i_k j_k}) \quad (4)$$

при ограничении

$$z_{i_k j_k} = \sum_{b_{ij} \in B_{\bar{k}K}} b_{ij} \quad (i \leq i_k, j \leq j_k), \quad (5)$$

где  $B_{\bar{k}K}$  – множество изделий, потребности в которых обеспечиваются изделиями с параметрами  $(u_{i_k}, t_{j_k})$ .

Таким образом, перспективные направления внедрения технологии поддержки принятия решений в аппаратно-программные комплексы автоматизированного управления связаны с необходимостью решения вопроса совместного определения оптимальных параметрических рядов технических средств и оптимальных сроков замены одного ряда другим. Данная задача относится к классу наиболее сложных и малоизученных задач, для которых в настоящее время нет достаточно эффективных методов решения. Поэтому предлагается использовать методологию математического моделирования на основе задачи сетевого планирования и управления. Эта задача хорошо изучена, является достаточно простой. В данном случае простоту задачи о кратчайшем пути следует понимать в том смысле, что для ее решения найдены алгоритмы с полиномиальными относительно размеров задачи оценками объема вычислений.

#### Список используемых источников

1. Москвин Б.В. Теория принятия решений. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005. – 383 с.
2. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А.Барсегян, М.С.Куприянов, В.В.Степаненко, И.И.Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
3. Алексеев О.Г., Кежаев В.А. Оптимальные задачи математической теории стандартизации. Математические модели, методы и алгоритмы решения: монография. – Л.: МО СССР, 1985. – 254 с.

С.А. Лепешкин,  
кандидат техн. наук;  
В.С. Скирда;  
Р.Р. Хайдаров;  
А.Б. Умаров

## ОПТИМАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ РАДИОВИДЕНИЯ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ В ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Разработан метод оптимальной обработки случайных полей применительно к задачам восстановления изображений в системах радиовидения воздушно-космического базирования в телескопическом режиме. Синтезированы общие алгоритмы восстановления изображений для телескопического режима землеобзора, и проведен анализ их работоспособности.

Ключевые слова: радиовидение, оптимальная обработка случайных полей, восстановление радиолокационных изображений, телескопический режим.

Отличительной особенностью систем активного зондирования является рассеяние зондирующего сигнала облучаемой поверхностью. В этом случае принимаемый сигнал представляет собой суперпозицию рассеянных составляющих зондирующего сигнала с различными амплитудой и временными задержками. При этом полезная информация, как правило, содержится в пространственно распределенных параметрах принимаемого сигнала

$$\xi(t) = S(t, u(\mathbf{r})) + n(t) = \int_{\Omega} F(t, \mathbf{r}) u(\mathbf{r}) d\mathbf{r} + n(t), \quad (1)$$

где  $S(t, u(\mathbf{r}))$  — полезный сигнал, который в данном случае является линейным функционалом от пространственной реализации  $u(\mathbf{r})$ ;  
 $u(\mathbf{r})$  — удельный коэффициент рассеяния, характеризующий отражающие свойства поверхности  $\Omega$ ;  
 $\mathbf{r}$  — вектор пространственных координат в области  $\Omega$ ;  
 $F(t, \mathbf{r})$  — значения зондирующего сигнала  $F(t)$  в каждой точке зондируемой поверхности  $\Omega$ ;  
 $n(t)$  — гауссовский белый шум (ГБШ) с нулевым математическим ожиданием и корреляционной функцией  $R_n(t_1, t_2) = \frac{N}{2} \delta(t_2 - t_1)$ .

Среди различных систем активного зондирования, с помощью которых получают изображения протяженных объектов, особыми преимуществами обладают радиолокационные системы. Они позволяют получать изображения земной и водной поверхностей, а также расположенных на ней объектов независимо от времени суток, освещенности, в любых метеорологических условиях. Так, например, в настоящее время для этих целей широко используются радиолокационные станции с синтезированием апертуры (РСА) [1], которые предполагают движение носителя системы зондирования.

Особенность получения изображений в РСА состоит в том, что формирование раскрыва антенны по одной из координат производится за счет априорно известного движения носителя приемопередающей антенны (синтезирования апертуры). В качестве основного метода

обработки траекторного сигнала в РСА используется субоптимальный метод согласованного приема [1], который является частным случаем наиболее общего байесовского метода и используется в тех вариантах, когда погрешности формирования траекторного сигнала незначительны (большое значение отношения сигнал/шум, малые траекторные искажения). Использование байесовского подхода позволяет значительно расширить круг практических задач, связанных с обработкой радиолокационных изображений, и получить оптимальные алгоритмы восстановления изображений в системах активного зондирования, протяженных объектов.

В [2] синтезированы общие алгоритмы восстановления неподвижных изображений методами пространственной фильтрации статических случайных полей. Конкретизируя их применительно к задаче восстановления изображений в системах активного зондирования получим уравнение для оптимальной по критерию минимума среднего квадрата ошибки (СКО) оценки

$$\hat{u}(r) = m_u(r) + \int_0^T \int_{\Omega} R(r, r') F(\tau, r') \left( \xi(\tau) - \int_{\Omega} F(\tau, r'') m_u(r'') dr'' \right) dr' d\tau \quad (2)$$

и выражение для корреляционной функции ошибки восстановления

$$R(r, r') = \left[ \int_0^T F(\tau, r) F(\tau, r') d\tau + R_u^{-1}(r, r') \right]^{-1}, \quad r, r', r'' \in \Omega, \quad \tau \in [0, T], \quad (3)$$

где  $m_u(r)$  и  $R_u(r, r')$  — априорные математическое ожидание и корреляционная функция модели исходного изображения  $u(r)$  соответственно [4];

$T$  — время накопления информации.

В частном случае, когда искажающий оператор  $S$  является линейным (1), алгоритмы (2) и (3) будут представлять собой один из вариантов (наиболее удобных для практической реализации) алгоритма винеровской пространственной фильтрации [3]:

$$\hat{u}(r) = \iint_{\Omega} R(r, r') R_u^{-1}(r', r'') m_u(r'') dr' dr'' + \int_0^T \int_{\Omega} R(r, r') F(\tau, r') \xi(\tau) dr' d\tau. \quad (4)$$

Важным условием практической реализации алгоритмов (2) и (3) является необходимость выполнения требования к времени накопления информации  $T \geq T_c$ , где  $T_c$  — время синтеза апертуры. Если время накопления информации  $T < T_c$ , то возникает пространственная неопределенность, при которой алгоритмы не работоспособны. Напротив, если  $T > T_c$ , то создаются условия избыточности информации, при которой точность получаемой оценки увеличивается. Таким образом, в идеальных условиях реализации оптимальных алгоритмов восстановления изображений в системах активного зондирования протяженных объектов при  $T \rightarrow \infty$  дисперсия ошибки восстановления стремится к нулю.

В реальных условиях функционирования РСА при боковом обзоре время накопления информации соизмеримо с длительностью синтеза апертуры и объективно зависит от множества факторов: условий выполнения зондирования, траекторных нестабильностей, наличия спекл-шумов и т. д.

Современные радиолокационные системы мониторинга земной поверхности позволяют применять цифровые алгоритмы обработки сигналов и управления режимами работы, что существенно расширяет возможности их практического применения. Цифровое управление параметрами системы дает возможность реализации различных видов обзора земной поверх-

ности: переднебокового, телескопического, секторного и др. Любой из этих видов обзора позволяет производить многократный просмотр участка местности, представляющего интерес для оператора, однако наиболее целесообразным для этого является телескопический обзор [5].

При телескопическом обзоре радиолокационное изображение (РЛИ) формируется в виде отдельного кадра в окрестности выбранной точки – центральной точки (ЦТ) участка местности (рис. 1), положение которого остается неизменным ( $x_{ЦТ} = \text{const}$ ,  $y_{ЦТ} = \text{const}$ ).

Размер кадра РЛИ определяется раскрытием диаграммы направленности антенны (ДНА), а ось ДНА отслеживает ЦТ кадра РЛИ, при этом закон управления ДНА [5]

$$\psi_a(t) = \arctg((x_{ЦТ} - V_n t) / y_{ЦТ}), \quad (5)$$

где  $x_{ЦТ}, y_{ЦТ}$  – пространственные координаты точки ЦТ введенные в соответствии с рис. 1;

$\gamma_0$  – угол между осью ДНА и нормалью к земной поверхности;

$V_n$  – путевая скорость ЛА;

$h_0$  – высота полета;

$L$  – длина интервала наблюдения.

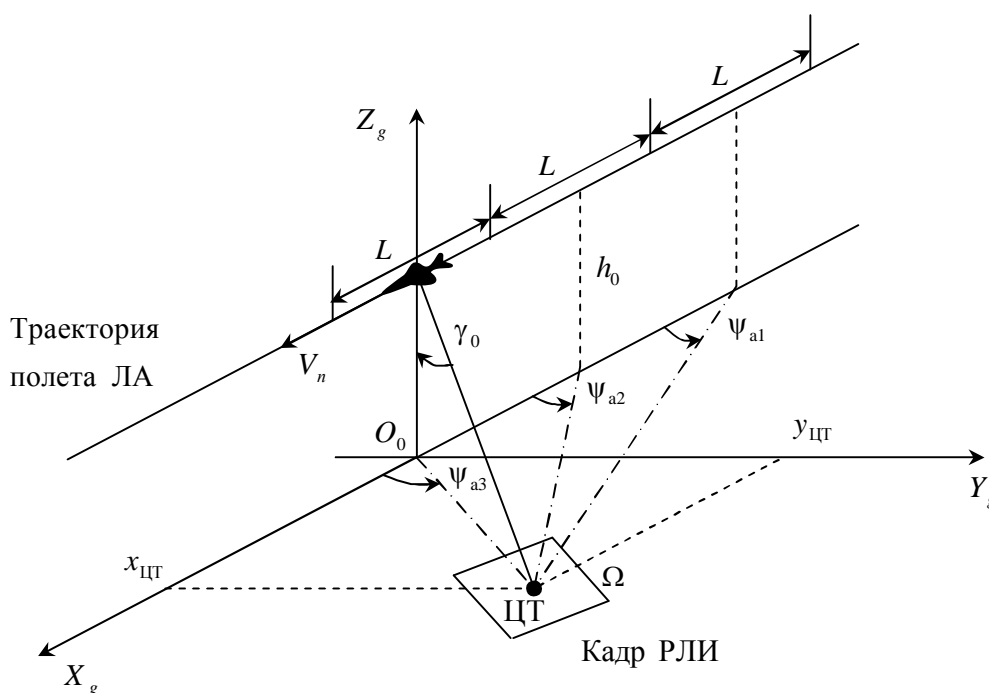


Рис. 1. Телескопический режим работы системы радиовидения воздушно-космического базирования

Именно при телескопическом обзоре удастся добиться условий, при которых время накопления информации значительно больше длительности синтеза:  $T \ll T_c$ , что позволяет существенно повысить качество восстановления РЛИ. Однако увеличение времени накопления информации при цифровой обработке сигналов влечет за собой увеличение требуемого объема памяти для хранения массива значений корреляционной функции ошибки восстановления, определяющей импульсную характеристику корректирующего фильтра [3],

а также существенное увеличение вычислительных затрат при выполнении операций обращения матриц больших размерностей (3). Решение этой проблемы возможно при использовании метода восстановления случайных полей в дискретном времени [6]. Для этого необходимо разбить время накопления информации на равные отрезки, соответствующие длительности синтеза апертуры, и производить процедуру восстановления РЛИ поэтапно на каждом отрезке, причем получаемая оценка случайного поля РЛИ и корреляционная функция ошибки восстановления на текущем этапе будут служить априорной информацией для вычислений на следующем этапе.

Адаптируя решающие правила восстановления случайных полей в дискретном времени применительно к задаче восстановления изображений в системах активного зондирования при телескопическом обзоре, из выражений (2) и (3) получим соответствующие уравнения для оценки и корреляционной функции ошибки восстановления:

$$\hat{u}_j(\mathbf{r}) = \hat{u}_{j-1}(\mathbf{r}) + \int_{T_{j-1}}^{T_j} \int_{\Omega} R_j(\mathbf{r}, \mathbf{r}') F_j(\tau, \mathbf{r}') \left( \xi_j(\tau) - \int_{\Omega} F_j(\tau, \mathbf{r}'') \hat{u}_{j-1}(\mathbf{r}'') d\mathbf{r}'' \right) d\mathbf{r}' d\tau, \quad (6)$$

$$R_j(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \left[ \int_{T_{j-1}}^{T_j} F_j(\tau, \mathbf{r}) F_j(\tau, \mathbf{r}') d\tau + R_{j-1}^{-1}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \right]^{-1}, \quad \mathbf{r}, \mathbf{r}', \mathbf{r}'' \in \Omega, \quad \tau \in [T_{j-1}, T_j]. \quad (7)$$

Для выражений (6) и (7) где  $T_j - T_{j-1} = T_c$ ,  $T_0 = 0$ ,  $j = \overline{1, m}$  ( $m$  – количество этапов обработки, определяемое числом интервалов синтеза апертуры за общее время накопления информации), а  $\hat{u}_0(\mathbf{r}) = m_u(\mathbf{r})$  и  $R_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = R_u(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$

$\hat{u}_0(\mathbf{r})$  и  $R_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$  – априорные математическое ожидание и корреляционная функция модели исходного изображения  $u(\mathbf{r})$  соответственно [4].

Из анализа выражений (6), (7) можно сделать вывод, что в данном случае увеличение времени накопления информации при телескопическом обзоре не повлечет за собой негативных последствий увеличения требований к объему памяти и производительности бортового специализированного вычислителя.

Структурная схема устройства, реализующего алгоритм (6) и (7), представлена на рис. 2. Следует отметить, что устройство весовой обработки (УВО), реализующее алгоритм (6), на каждом  $j$ -м этапе обработки формирует матрицу корректирующих значений  $W_j(\mathbf{r})$ , улучшающих качество восстановленного случайного поля РЛИ на предыдущем этапе обработки  $\hat{u}_{j-1}(\mathbf{r})$ :

$$W_j(\mathbf{r}) = \int_{T_{j-1}}^{T_j} \int_{\Omega} R_j(\mathbf{r}, \mathbf{r}') F_j(\tau, \mathbf{r}') \left( \xi_j(\tau) - \int_{\Omega} F_j(\tau, \mathbf{r}'') \hat{u}_{j-1}(\mathbf{r}'') d\mathbf{r}'' \right) d\mathbf{r}' d\tau. \quad (8)$$

Для функционирования УВО необходимо наличие ряда составляющих:

- наблюдаемого сигнала  $\xi_j(\tau)$ , поступающего из приемного устройства;
- опорного сигнала  $F_j(\tau, \mathbf{r})$ , генерируемого блоком формирования сигнала (БФС) с использованием априорных сведений о зондирующем сигнале и навигационной информации;
- значения оценки случайного поля РЛИ на предыдущем этапе обработки  $\hat{u}_{j-1}(\mathbf{r})$ ;

— значения корреляционной функции ошибки восстановления  $R_j(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ , определяющей импульсную характеристику корректирующего фильтра.

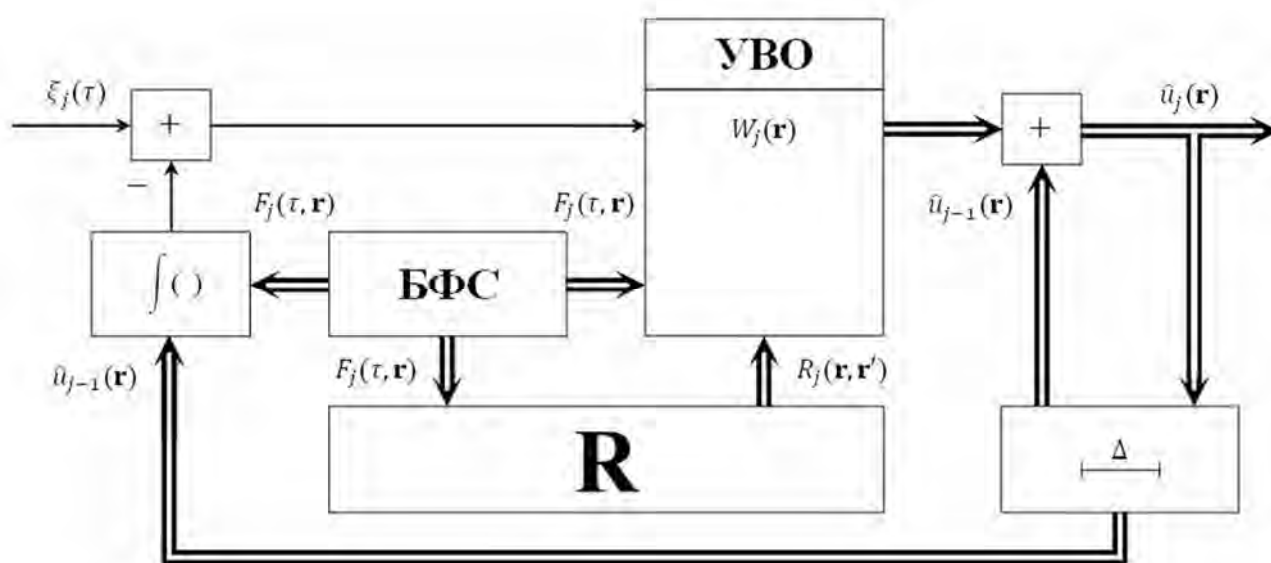


Рис. 2. Структурная схема устройства оптимального восстановления изображений в системах активного зондирования при телескопическом обзоре

На рис. 2 явно видна циклическая структура синтезированного рекуррентного алгоритма, функционирование которого от этапа к этапу при  $j \rightarrow \infty$  приводит к уменьшению абсолютной величины корректирующих значений  $W_j(\mathbf{r})$ , а оценка случайного поля РЛИ стремится к его истинному значению, т.е.  $\hat{u}_j(\mathbf{r}) \rightarrow u(\mathbf{r})$ , что подтверждает гипотезу, описанную выше.

#### Список используемых источников

1. Фалькович С.Е., Пономарев В.И., Шкварко Ю.В. Оптимальный прием пространственно-временных сигналов в радиоканалах с рассеянием. – М.: Радио и связь, 1989. – 296 с.
2. Коренной А.В., Ершов Л.А. Восстановление неподвижных изображений как задача пространственной фильтрации статических случайных полей // Радиотехника. – 1996. – № 7. – С. 74–77.
3. Коренной А.В., Лепёшкин С.А. Оптимальное восстановление изображений в радиолокационных системах мониторинга земной поверхности // Радиотехника. – 2010. – № 11. – С. 6–9.
4. Коренной А.В. Математические модели полутонковых изображений // Радиотехника. – 2007. – № 8. – С. 79–81.
5. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов, В.Т. Горяинов, А.Н. Кулин и др.; под ред. В.Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
6. Обнаружение, распознавание и определение параметров образов объектов. Методы и алгоритмы / под ред. А.В. Коренного. – М.: Радиотехника, 2012. – 112 с.

А.Г. Осипов,  
кандидат географических наук;  
А.Н. Ефимов

## МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕСТНОСТИ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Изложена методика комплексной оценки оперативно-тактических свойств местности, включающая: формирование концептуальных информационных моделей для производства оценки, ранжирование оцениваемых показателей, оценку оперативно-тактических свойств в пределах изучаемой территории и комплексную оценку их влияния на выполнение задач по управлению воинскими частями и подразделениями.

Ключевые слова: оперативно-тактическое свойство, система поддержки принятия решений, концептуальная информационная модель предметной области, оптимизация информационного обеспечения, дерево свойств, весовые коэффициенты, аналитические (факторные) карты, синтетические.

К одной из важнейших задач, решаемых командирами и штабами при подготовке боевых действий войск, относится изучение местности, основанное на анализе факторов, которые влияют на объем и содержание организационных и военно-технических мероприятий. На оценку обстановки на всех уровнях управления (оперативном и тактическом) отводится не более 0,5 часа. Оценка обстановки, выполняемая за это время, включает: оценку противника, оценку своих войск, соотношение сил сторон по задачам, оценку районов действий войск (оперативно-тактических свойств местности), состояние погоды, время года и суток, а также факторы, влияющие на выполнение боевых задач.

В решении этих задач значительная роль принадлежит системам поддержки принятия решений (СППР), использующим специальное программное обеспечение, базу данных, базу знаний и библиотеку прикладных программ для обработки и представления информации, необходимой для управления войсками и оружием.

Однако в настоящее время эффективность СППР не в полной мере удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям войск, что в первую очередь связано с несовершенством моделей и методов, используемых в СППР для обработки и представления геопространственной информации.

Следовательно, одной из важнейших задач, стоящих перед специалистами в области геопространственной информации, является создание моделей и методов и методик ее комплексной обработки и представления в СППР.

На основе обобщения имеющегося опыта по анализу и представлению геопространственной информации была разработана методика комплексной оценки местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий, структурно-логическая схема которой представлена на рис.1. Кратко рассмотрим содержание ее основных блоков.

*Первый блок* – подготовительные работы. Они включают в себя сбор и изучение фондовых, литературно-справочных, статистических, аэрокосмических и картографических материалов, характеризующих физико-географические условия исследуемого региона.

*Второй блок* – формирование концептуальных информационных моделей предметной области. Для их построения используется аналитический подход, который ориентирован на детализацию каждой прикладной задачи до уровня операций, обеспечивающих ее решение, в результате чего изучаемая предметная область разбивается на совокупность локальных участков [5].

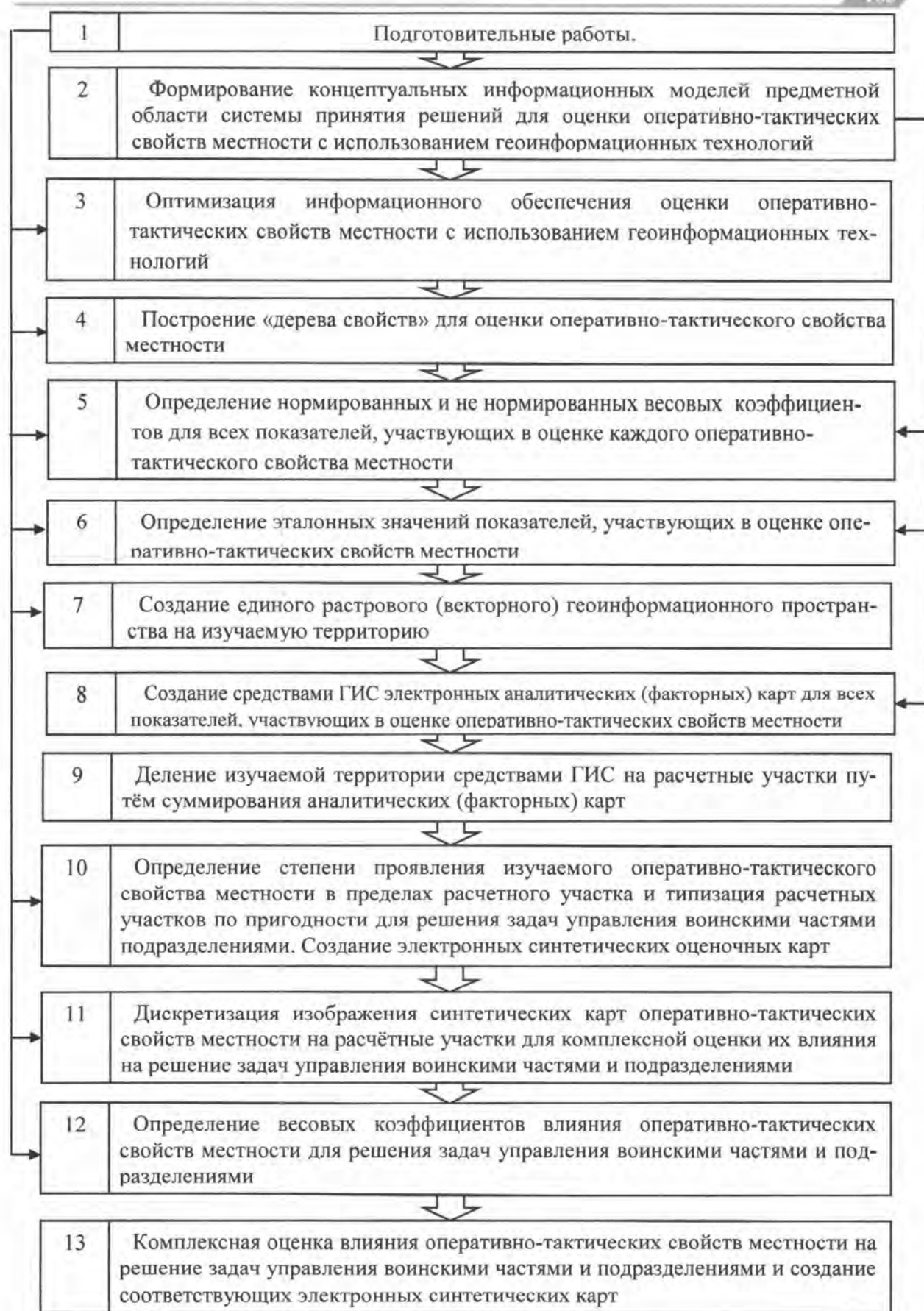


Рис. 1. Структурно-логическая схема методики комплексной оценки местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий

Аналитический подход к построению концептуальных информационных моделей дает возможность учесть все элементы местности, их свойства и взаимосвязи между ними. Кроме того, он позволяет создавать локальные информационные блоки, которые могут использоваться при решении нескольких прикладных задач. Исходя из этого, для создания концептуальной информационной модели прикладной задачи необходимо разбить ее предметную область на ряд локальных участков, построить для них локальные концептуальные информационные модели и объединить их путем абстрагирования и обобщения в комплексную концептуальную информационную модель прикладной задачи. Данные, необходимые для решения каждой прикладной задачи, определяются путем анализа информационного обеспечения, требуемого для выполнения выявленных операций. Результатом практической реализации аналитического подхода к описанию концептуальных информационных моделей является создание для каждой из них следующих справочников: правил, операций и данных.

Наиболее важным этапом формирования концептуальных информационных моделей предметной области является этап идентификации связей. В его основу закладывается логико-понятийный аппарат, учитывающий правила оценки местности, которые разрабатываются совместно со специалистами предметной области. В завершение работ по реализации второго блока методики каждая разработанная концептуальная информационная модель представляется графически.

*Третий блок* – оптимизация информационного обеспечения оценки оперативно-тактических свойств местности. В виду того, что основным источником информации для оценки оперативно-тактических свойств местности является топографическая карта масштаба 1:50000, оптимизация информационного обеспечения заключается в определении критериев его оптимальности и формализации оценки отдельных элементов содержания карты. Исходя из этого, оптимальный вариант можно найти путем дополнения информации из других источников об отдельных элементах местности, отображенных на карте. А в случае ее нехватки для оценки оперативно-тактических свойств, до достижения наивысшего значения, рассчитывается по критерию оптимальности информационного обеспечения.

Пусть известны  $m$  операций и  $n$  элементов местности, отображенных на карте. В процессе анализа образца карты с привлечением экспертов любому из элементов карты может быть дана оценка  $Z_{ij}$ , определяющие, в какой степени  $i$ -й элемент по своей информативности (детальности) может удовлетворять реализации  $j$ -й операции. Тогда, пользуясь предлагаемыми формулами, можно получить три важных характеристики содержания карты, определяющие ее соответствие требованиям информационного обеспечения оценки оперативно-тактических свойств местности [2]:

– степени удовлетворения любой из операций совокупности элементов содержания карты

$$Z_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad (1)$$

– степени удовлетворения совокупности операций любым из элементов содержания карты

$$Z_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ij}; \quad (2)$$

– степени соответствия карты информационному обеспечению оценки оперативно-тактических свойств местности:

$$Z = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n Z_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m Z_i. \quad (3)$$

При этом карту можно считать полностью удовлетворяющей информационному обеспечению процедуры оценки оперативно-тактических свойств местности, если для каждого элемента содержания будет соблюдено условие

$$z_{ij} = Z_0 \geq 0, \quad (4)$$

где  $Z_0$  – некоторое заданное значение оценки элементов содержания карты (нижний предел ее соответствия требованиям информационного обеспечения).

Из условия (4) вытекает, что любая из оценок соответствия элементов содержания карты требованиям информационного обеспечения должна быть не ниже заданной величины  $Z_0$ . Идеальным является случай, когда  $z_{ij} = Z_{\max}$ , т.е., когда любая из оценок получит максимально возможное значение, например, единицу, при интервале оценок  $\{0; 1\}$ . Однако такие случаи маловероятны, поскольку не все элементы содержания карты максимально информативны с точки зрения информационного обеспечения оценки оперативно-тактических свойств местности. Поэтому оптимизация информационного обеспечения будет заключаться в дополнении информации из других источников об отдельных элементах местности, отображенных на карте, которое позволило бы получить оценки  $z_{ij}$ , удовлетворяющие условию (4) и максимально приближенные к значению  $Z_{\max}$ , т.е. соблюсти следующее требование:

$$\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m (Z_{\max} - z_i) = \min. \quad (5)$$

В наиболее общем виде предложенная модель может быть реализована в виде следующих операций:

- 1) составление программы испытаний и оценочных анкет, подготовка экспертов;
- 2) установление величины  $Z_0$ ;
- 3) испытание и оценка карты: определение значений  $z_{ij}$  (экспертным методом), вычисление  $Z_i$ ,  $Z_j$  и  $Z$ ;
- 4) проверка оценок по условию (4), принятие решения по оптимизации информационного обеспечения;
- 5) выявление наименьших значений  $z_{ij}$ , определение слабых сторон информационного обеспечения;
- 6) корректировка информационного обеспечения путем дополнения информации из других источников об отдельных элементах местности, отображенных на карте;
- 7) определение степени соответствия откорректированного информационного обеспечения условию (4).

Показатели  $Z_i$  и  $Z_j$  позволяют выявить слабые стороны информационного обеспечения и определить порядок действий по его улучшению. Показатель  $Z$  выражает степень оптимальности информационного обеспечения для оценки оперативно-тактических свойств местности.

*Четвертый блок* – построение «дерева свойств». В основу построения «дерева свойств» закладываются следующие принципы [1, 3, 4]:

- деление в пределах каждой отдельной группы должно выполняться по единому признаку, т.е. по равному основанию;
- каждое комплексное свойство должно быть разделено на ближайшем вышестоящем уровне на такие свойства, число и характер которых соответствуют требованиям необходимости и достаточности;
- в пределах группы не могут одновременно находиться родовые и видовые свойства;
- количество уровней в «дереве свойств» должно быть таким, чтобы в каждой группе находилось минимальное количество свойств (в идеале – два);
- разбиение свойств должно быть продолжено до тех пор, пока не будет достигнут самый высокий уровень, на котором находятся элементарные и квазиэлементарные свойства.

*Пятый блок* – определение ненормированных и нормированных весовых коэффициентов. Определение ненормированных весовых коэффициентов для показателей, вошедших в «дерево свойств», предлагается осуществлять экспертным методом парных сравнений. Его выбор был обусловлен простотой проведения экспертизы и достоверными результатами экспертного анализа. При реализации данного метода экспертам предъявляется матрица с пара-

ми оцениваемых показателей (рис. 2) и предлагается в каждой паре выбрать более предпочтительное решение.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	$w_1/w_1$	$w_1/w_2$	$w_1/w_3$	$w_1/w_4$
$A_2$	$w_2/w_1$	$w_2/w_2$	$w_2/w_3$	$w_2/w_4$
$A_3$	$w_3/w_1$	$w_3/w_2$	$w_3/w_3$	$w_3/w_4$
$A_4$	$w_4/w_1$	$w_4/w_2$	$w_4/w_3$	$w_4/w_4$

Рис. 2. Матрица парных сравнений

Далее с использованием формул (6)–(9) по строкам определяются компоненты собственного вектора матрицы. После чего с использованием нижеприведенных формул рассчитываются ненормированные векторы приоритета:

$$\sqrt[4]{(w_2/w_1) \times (w_2/w_2) \times (w_2/w_3) \times (w_2/w_4)} = b \quad (6)$$

$$\sqrt[4]{(w_1/w_1) \times (w_1/w_2) \times (w_1/w_3) \times (w_1/w_4)} = a \quad (7)$$

$$\sqrt[4]{(w_3/w_1) \times (w_3/w_2) \times (w_3/w_3) \times (w_3/w_4)} = c, \quad (8)$$

$$\sqrt[4]{(w_4/w_1) \times (w_4/w_2) \times (w_4/w_3) \times (w_4/w_4)} = d, \quad (9)$$

$$S = a + b + c + d, \quad (10)$$

$$P_1 = a / P S, \quad (11)$$

$$P_2 = b / S, \quad (12)$$

$$P_3 = c / S, \quad (13)$$

$$P_4 = d / S. \quad (14)$$

где  $P_1, \dots, P_4$  – ненормированные векторы приоритета (коэффициенты весомости).

После расчета ненормированных векторов приоритета с использованием следующих зависимостей устанавливается согласованность мнений экспертов.

$$F_1 = (w_1/w_1) + (w_2/w_1) + (w_3/w_1) + (w_4/w_1), \quad (15)$$

$$F_2 = (w_1/w_2) + (w_2/w_2) + (w_3/w_2) + (w_4/w_2), \quad (16)$$

$$F_3 = (w_1/w_3) + (w_2/w_3) + (w_3/w_3) + (w_4/w_3), \quad (17)$$

$$F_4 = (w_1/w_4) + (w_2/w_4) + (w_3/w_4) + (w_4/w_4), \quad (18)$$

$$\lambda_{\max} = F_1 \times P_1 + F_2 \times P_2 + F_3 \times P_3 + F_4 \times P_4, \quad (19)$$

$$ИС = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1); \quad ОС = \text{Создание единого растрового (векторного) геоинформационного пространства на изучаемую территорию } ИС / Z, \quad (20)$$

где  $ИС$  – индекс согласованности мнений экспертов;

$ОС$  – относительная согласованность мнений экспертов;

$Z$  – случайная согласованность;

$n$  – число сравниваемых показателей.

Величина относительной согласованности мнений экспертов считается приемлемой, если она находится в интервале от 0 до 10 % случайной согласованности. В противном случае экспертам предлагается пересмотреть свои суждения.

Нормированные коэффициенты весомости (важности) каждого показателя, участвующего в оценке, рассчитываются по формуле

$$P_j = \bar{P}_{j1} \times \dots \times \bar{P}_{jn}, \quad (21)$$

где  $P_j$  – нормированный коэффициент весомости (важности)  $j$ -го элементарного (квазиэлементарного) свойства;  
 $\bar{P}_{j1}; \bar{P}_{jn}$  – средние ненормированные коэффициенты весомости (важности) 1-го и  $n$ -го уровней «дерева свойств», иерархически связанных в пределах одной ветви с  $j$ -м элементарным (квазиэлементарным) свойством;  
 $n$  – количество уровней в «дереве свойств».

*Шестой блок* – определение эталонных значений показателей. Эталонные значения показателей, участвующих в оценке, соответствуют лучшим показателям, характеризующим оперативно-тактические свойства в пределах изучаемой территории. Для их определения используются фондовые, нормативные материалы, данные полевых обследований и аэрокосмическая информация.

*Седьмой блок* – создание единого растрового (векторного) геоинформационного пространства. Единое геоинформационное пространство создается путем сшивки листов растровых (векторных) топографических карт масштаба 1:50000 на всю изучаемую территорию. К созданному единому геоинформационному пространству привязываются почвенные, ландшафтные, гидрогеологические, дорожные, лесоустроительные и другие тематические карты, которые имеют информацию, используемую для оценки оперативно-тактических свойств местности.

*Восьмой блок* – создание средствами ГИС электронных аналитических (факторных) карт. Под факторной картой понимается графическое отображение пространственно-привязанной информации о влиянии анализируемого элемента местности на изучаемое оперативно-тактическое свойство. В основу оценки заложены показатели, характеризующие анализируемый элемент. При этом в том случае, если показатель поддается методам физических измерений, его абсолютное значение выражается в каких-либо физических единицах, а в противном случае – в баллах. После этого осуществляется определение относительных значений показателей по следующим формулам:

$$R_{pj} = w_{pj} / w_{j\text{эт}} \text{ при } w_{jk} < w_{j\text{эт}}, \quad (22)$$

$$R_{pj} = w_{j\text{эт}} / w_{pj} \text{ при } w_{pj} > w_{j\text{эт}}, \quad (23)$$

где  $R_{pj}$  – относительное значение показателя, характеризующего  $j$ -е элементарное (квазиэлементарное) свойство  $p$ -го объекта ( $R_{pj}$  – меняется в пределах от 0 до 1 ( $0 < R_{pj} < 1$ ));  
 $w_{pj}$  – абсолютное значение показателя, характеризующего  $j$ -е элементарное (квазиэлементарное) свойство  $p$ -го объекта;  
 $w_{j\text{эт}}$  – эталонное абсолютное значение показателя, характеризующего  $j$ -е элементарное (квазиэлементарное) свойство.

В зависимости от значений показателей, характеризующих влияние анализируемого элемента местности на изучаемое оперативно-тактическое свойство, на факторной карте выделяются ареалы различной пригодности для ведения боевых действий: 1) пригодные; 2) ограниченно пригодные; 3) непригодные. Затем каждому выделенному ареалу присваивается соответствующий балл в интервале от 2 до 10.

Для создания факторных карт используется как стандартное программное обеспечение геоинформационных систем, так и специально разработанное.

*Девятый блок* – деление изучаемой территории средствами ГИС на расчетные участки. Деление территории на расчетные участки осуществляется путем суммирования аналитических факторных карт с использованием операции «топологический оверлей», в результате чего изучаемая территория делится на совокупность однородных элементарных ареалов, в пределах которых каждый из анализируемых показателей имеет только одно значение. В качестве примера на рис. 3 приведено деление территории на расчетные участки по пригодности рельефа и грунтов.

*Десятый блок* – определение степени проявления изучаемого оперативно-тактического свойства местности в пределах расчетного участка и создание синтетических оценочных карт. Для определения степени проявления изучаемого оперативно-тактического свойства местности все показатели его характеризующие суммируют, с учетом их важности (веса), и получают синтетический показатель в пределах расчетного участка

$$K_p^0 = \sum R_{pj} P_j, \quad (24)$$

где  $K_p^0$  – синтетический показатель, характеризующий проявление изучаемого оперативно-тактического свойства в пределах  $p$ -го расчетного участка.

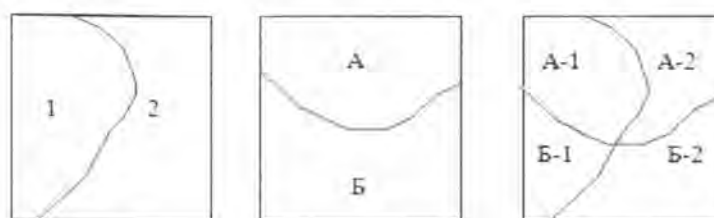


Рис. 3. Деление изучаемой территории средствами ГИС на расчетные участки

На рис. 3 введены следующие условные обозначения: 1, 2 – ареалы, имеющие различные значения пригодности рельефа; А, Б – ареалы, имеющие различные значения пригодности грунтов; А-1, А-2, Б-1, Б-2 – элементарные ареалы, однородные по значению пригодности рельефа и грунтов.

Наиболее пригодным для ведения боевых действий с точки зрения изучаемого оперативно-тактического свойства местности является тот расчетный участок, у которого показатель  $K_p^0$  имеет самое большое значение. Индекс «0» при показателе  $K_p^0$  означает, что оценка дается применительно к самому низкому (нулевому) уровню в иерархии свойств. При этом соотношение оценок пригодности будет точно отражать действительность только в том случае, когда оценка расчетных участков производится по полному «дереву свойств», без исключения из него свойств одинаковых в сравниваемых расчетных участках.

После получения для каждого расчетного участка синтетического показателя проявления в его пределах изучаемого оперативно-тактического свойства расчетные участки группируют по степени их влияния на ведение боевых действий и на этой основе создают синтетические карты. При этом под синтетической картой понимается целостное пространственное отображение изучаемого явления путем интерпретации, соединения и обобщения наиболее существенных показателей с учетом связей между ними.

*Одиннадцатый блок* – дискретизация изображения синтетических карт оперативно-тактических свойств местности на расчетные участки для комплексной оценки их влияния на решение задач управления воинскими частями и подразделениями. В существующей системе управления войсками заложен основополагающий принцип, в соответствии с которым необходимо на каждом уровне управления учитывать информацию, характеризующую обстановку для частей и подразделений на две ступени вниз, кроме того, обязательно учитывать регламентируемые боевыми уставами оперативно-тактические показатели. Очевидно, что чем

выше уровень управления и больше площадь оценивания местности, тем меньше степень детализации оценки местности и больше степень ее обобщения. Вместе с тем в настоящее время необходимо в основу оценки, выполняемой на более высоком уровне управления, закладывать детализацию, соответствующую более низкому уровню. Следовательно, возникает необходимость обоснования размеров расчетных участков не в общем виде, а конкретно для каждой из задач управления воинскими частями и подразделениями с учетом оперативно-тактических нормативов. В основу дискретизации изображения синтетических карт оперативно-тактических свойств местности целесообразно закладывать прямоугольную матрицу, элементарная ячейка которой будет являться расчетным участком. Его размер может корректироваться в зависимости от оперативного построения войск и условий местности.

Деление территории на расчетные участки осуществляется путем суммирования матрицы с синтетическими картами оперативно-тактических свойств местности с использованием операции «топологический оверлей», в результате чего изучаемая территория делится на совокупность однородных элементарных ареалов, в пределах которых изучаемому оперативно-тактическому свойству местности присваивается его средневзвешенное значение.

*Двенадцатый блок* – определение весовых коэффициентов влияния оперативно-тактических свойств местности на решение задач управления воинскими частями и подразделениями. Определение весовых коэффициентов предлагается осуществлять экспертным методом парных сравнений, подробно рассмотренным в пятом блоке методики в соответствии с зависимостями (6)–(20).

*Тринадцатый блок* – комплексная оценка влияния оперативно-тактических свойств местности на решение задач управления воинскими частями и подразделениями в пределах расчетного участка и создание синтетических оценочных карт.

Для комплексной оценки влияния оперативно-тактических свойств местности на решение анализируемой задачи управления воинскими частями и подразделениями в пределах расчетного участка все показатели, характеризующие его оперативно-тактические свойства с учетом их важности (веса), суммируют аналогично зависимости (24) и получают синтетический показатель, который используют для создания соответствующей синтетической карты.

Практическая реализация рассмотренной выше методики позволит обеспечить командиров и штабы объективной и наглядной информацией о влиянии оперативно-тактических свойств местности на решение задач управления частями и подразделениями.

#### Список используемых источников

1. *Арефьев Н.В., Бреусов В.П., Осипов Г.К.* Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика. – СПб., 2011. – 533 с.
2. *Балин Б.М., Иванов В.И., Сеницкий С.В.* Применение многофакторного дисперсионного анализа при обосновании содержания специальных (тематических) карт // Геодезия и картография. – 1988. – №10 – С. 30–36.
3. *Карманов Д.В., Осипов А.Г.* Метод автоматизированного формирования системы пространственно-распределенных трасс линейно-протяженных объектов на неосвоенных или малоосвоенных территориях с использованием геоинформационных технологий // Информация и космос. – 2013. – № 4. – С. 96–100.
4. *Осипов А.Г.* Многокритериальная оценка земельных ресурсов на основе квалиметрического анализа // Региональная экология. – 2003. – № 1 и 2. – С. 31–39.
5. *Осипов Г.К., Ефимов А.Н.* Теоретические основы разработки содержания баз данных о местности в геоинформационных системах военного назначения // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. – Вып. 631.

Р.М. Хрущ,  
кандидат техн. наук, доцент;  
А.В. Соловьев

## О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

В статье рассмотрены сущность концепции сетецентрических боевых действий, проблемы геоинформационного обеспечения ВС РФ и пути совершенствования методов оперативного создания геопрограммной информации.

Ключевые слова: топогеодезическое, навигационное и геоинформационное обеспечение, сетецентрические боевые действия.

Длительное время человечество пользовалось аналоговыми картами в бумажной форме. Бесспорно, что приоритетным направлением применения карт являлось и является их использование в войнах и военных конфликтах. Можно сказать, что одна из причин появления карт была их необходимость для ведения войн, которые сопутствуют человечеству с незапамятных времен. Хотя, с другой стороны, правы будут историки картографии, утверждающие, что человек начал изображать окружающую его местность для указания мест удачной охоты, удобных переправ через реки, путей передвижения кочевников и т.п. Очевидно также, что с развитием торговли и мореплавания карты приобрели еще большее значение, поэтому искусство составления карт достигло большого развития. Достаточно вспомнить, что одна из самых знаменитых карт античного времени была составлена древнегреческим географом и астрономом Птолемеем, который жил в Александрии во II в. до н.э.

Однако несомненно и то, что одно из самых важных назначений картографической продукции – военное. Потребности войны стимулировали развитие картографии. Наличие карт оказывало огромную помощь в разработке планов кампаний и сражений. История картографии в основном связана с потребностями военного дела, многие из карт были составлены при поддержке военных организаций или исключительно для военных целей.

Несмотря на то, что бумажные карты используются в наше время и будут использоваться, по крайней мере, в ближайшей перспективе, предпочтение отдается картам в цифровой (электронной) форме или цифровым (электронным) картам. Под *цифровой картой* будем понимать самую разнообразную информацию о местности, имея в виду, что обеспечение такой информацией является одной из основных задач Топографической службы Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ). Если быть более точным, то следует указать, что предназначением Топографической службы ВС РФ является организация топогеодезического и навигационного обеспечения Вооруженных Сил.

Содержание топогеодезического обеспечения включает своевременное доведение до штабов и войск точной и достоверной топогеодезической информации, необходимой для изучения и оценки местности при принятии решений, планировании и ведении операций (боевых действий), организации взаимодействия и управления войсками, а также для эффективного применения систем оружия и военной техники.

Основные задачи навигационного обеспечения сводятся к координатно-временному и навигационно-геодезическому определению местоположения военных объектов на местности и в пространстве.

С учетом содержания и задач топогеодезического и навигационного обеспечения информация должна быть в цифровой форме. Однако в настоящее время войскам и системам оружия требуется не только информация о местности в цифровой форме, это должна быть качественно другая информация: она должна обладать расширенными пользовательскими свойствами и возможностью ее обработки в разнородных автоматизированных системах управления. Поэтому в современном понимании топогеодезическое и навигационное обеспечение

преобразуется в принципиально новый вид обеспечения войск – геоинформационное обеспечение. Эта точка зрения выражена в «Концепции обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации геопространственной информацией до 2015 г.». Кроме того, имеется узаконенное определение геопространственной информации: "геопространственная информация" – совокупность данных о местности и объектах, расположенных на поверхности Земли, в подповерхностном слое Земли, приповерхностном слое атмосферы Земли и околоземном пространстве, необходимых для использования в различных областях деятельности [1].

В обоих случаях ключевым словом является «гео» (от гр. *ge* – Земля), первая составная часть сложных слов, обозначающая: относящийся к Земле, имеющей отношение к Земле, к земному шару, к их изучению и т.д. Подобная трактовка этого простого слова дана во многих словарях, например в [2]. Это означает, что когда мы говорим о геоинформационном обеспечении, то речь идет о предоставлении пользовательским структурам геопространственной информации о Земле в целом, о земле как ее части, т.е. о местности или пространстве, связанном с Землей.

Важно также понимать, что происходящая трансформация топогеодезического обеспечения вызвана объективными причинами, в первую очередь развитием и изменениями взглядов на ведение боевых действия. В настоящее время доминирует концепция сетецентрической войны. Сетецентрическая война («сетецентрические боевые действия», «сетецентрические операции») – концепция, ориентированная на повышение боевых возможностей перспективных формирований в современных войнах и вооруженных конфликтах, за счет достижения информационного превосходства, объединения участников боевых действий в единую сеть.

Прежде чем говорить об особенностях геоинформационного обеспечения, следует понять сущность сетецентрических боевых действий. По этому поводу имеется множество разработок и публикаций, история которых насчитывает, по крайней мере, двадцать-двадцать пять лет [3–7 и др.].

Термин «сетецентризм» впервые появился в американской компьютерной индустрии и стал результатом прорыва в информационных технологиях, которые позволили организовать взаимодействие между компьютерами, в которых при этом могли использоваться разные операционных системы. Неудивительно поэтому, что идеологами военного применения этого термина стали американцы: вице-адмирал Артур Цебровски и эксперт министерства обороны США Джон Гарстка [3]. Впрочем, некоторые военные теоретики считают, что подобные идеи, объединяющие усилия средств разведки, автоматизации управления и огневого поражения для достижения поставленной цели, принадлежат Маршалу Советского Союза Н.В. Огаркову и были высказаны в середине 80-х годов XX века. Однако фактом является то, что лишь в конце 90-х годов идея объединения всех трех компонент – средств разведки и наблюдения, боевых платформ, средств автоматизации управления и связи в единую систему начала обретать свои очертания в вооруженных силах США [4].

Американские идеологи «сетецентрических боевых действий» полагали, что это не только развертывание компьютерных сетей с целью обеспечения как вертикальной, так и горизонтальной интеграции всех участников операции. Подразумевались изменение тактики действия перспективных формирований за счет рассредоточения боевых порядков, оптимизации способов разведывательной деятельности, упрощение процедур согласования и координации огневого поражения, а также некоторое нивелирование разграничения средств по звеньям управления и повышение боевых возможностей современных формирований за счет синергетического эффекта как прямого следствия улучшения информационного обмена и возрастания роли самой информации. Первая американская концепция «сетецентризма» появилась лишь в конце 90-х годов и получила обозначение NCW – Network-centric Warfare [3].

Концепция «сетецентричности» не определяет формы и виды ведения боевых действий. Она представляет собой лишь новую систему взглядов на управление вооруженными силами и боевыми средствами, ориентированную на достижение информационного превосходства над противником и предусматривающую увеличение их боевого потенциала за счет создания единой информационно-коммуникационной сети [5]. Эта сеть должна связывать источники

данных (в том числе разведки), лиц, принимающих решения, и исполнителей (средства поражения). Интеграция всех сил и средств в едином информационном пространстве позволяет многократно увеличить эффективность их боевого применения за счет синергетического эффекта [9]. Другими словами, превосходство над противником достигается не за счет простого количественного наращивания боевых средств («платформ»), а в первую очередь за счет сокращения цикла боевого управления.

В НАТО концепция сетецентрической войны практически внедрена. Пример ведения сетецентрической войны продемонстрировали вооруженные силы США в 2003 г. в ходе войны в Ираке [9].

Сетецентрическая война может вестись на всех уровнях военных действий – тактическом, оперативном и стратегическом. Принципы ее ведения не зависят от географического региона, боевых задач, состава и структуры применяемых войск (сил). Ключевым элементом единого информационного пространства является разведывательно-информационное обеспечение органов управления войсками и оружием, проблема создания которого остро стоит во всех звеньях управления Вооруженных Сил Российской Федерации [9].

В Вооруженных Силах нашей страны концепция сетецентрической войны находится в стадии разработки. Очевидно, что в таком же положении находятся и проблемы геоинформационного обеспечения, которое является одним из самых важных факторов формирования единого информационного пространства. По существу, программные задачи в этой области, существующие нерешенные вопросы и перспективные задачи сформулированы в работе «Курс – на сетецентрическую систему вооружения» [9]. Одно из положений данной работы уместно здесь привести.

**Геоинформационные системы** (ГИС) являются одним из элементов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность разведывательно-информационного обеспечения. Для эффективного использования ГИС в современных условиях ведения боевых действий (характеризующихся глобальностью, скоротечностью, высокой стратегической мобильностью) необходимо **создание единого банка геоинформационных данных**, содержащего сведения об объектах поражения и обеспечивающего применение средств огневого поражения в различных районах в любое время вне зависимости от внешних условий.

Ведущиеся работы по развитию средств геоинформационного обеспечения не в полной мере охватывают весь спектр задач, решение которых необходимо для ВС РФ. Существует ряд теоретических проблем, без решения которых достичь потенциально возможной эффективности информационного обеспечения ВС РФ не удастся.

К числу наиболее общих проблем следует отнести следующие: неполная согласованность принципиальных, технических и организационных решений, реализуемых в рамках отдельных работ; относительная неравномерность развития и внедрения новых методов обработки информации и реализующих их аппаратно-программных средств как внутри предметной области информационного обеспечения ВС РФ, так и в смежных сферах, например, в сфере связи и телекоммуникаций; быстрое моральное старение аппаратных и программных средств, связанное с постоянным научно-техническим прогрессом в сфере информационных технологий.

Одновременно с существующими теоретическими проблемами складывается сложное положение с практическим применением средств получения геоинформационных данных. Для улучшения ситуации в этой области в составе орбитальной группировки должны присутствовать космические аппараты *обзорной фоторазведки, топогеодезического и метеорологического обеспечения*, а также КА *оптико-электронной и радиолокационной разведки*, детальной фоторазведки, отвечающие требованиям по оперативности доставки развединформации. Кроме того, в составе орбитальной группировки должен функционировать комплекс космического картографирования, обеспечивающий создание цифровых информационных массивов в интересах систем наведения высокоточного оружия.

Особенно важно наличие в составе разведывательно-информационной системы объектов воздушного базирования: пилотируемых самолетов-разведчиков, разведывательных ком-

плексов с беспилотными разведывательными аппаратами, самолетов радиолокационного дозора и наведения, воздушных пунктов управления, связи и ретрансляции и др.

Приведенные выше тезисы затрагивают общие вопросы разведовательно-информационного обеспечения. Решением большинства перечисленных вопросов занимаются части и подразделения Топографической службы ВС РФ. Так, по словам начальника Военно-топографического управления ГШ ВС (лекция для сотрудников 7-го факультета ВКА имени А.Ф. Можайского перед началом 2013/2014 учебного года), предполагается система, управления, созданная на основе единого информационного пространства, которое формируется заблаговременно и постоянно уточняется в ходе боевых действий. Применительно к геопространственной информации это означает создание единого геоинформационного поля (пространства) на всю территорию Земли в виде совокупности баз геопространственных данных с объектно-ориентированным представлением информации о местности в единой пространственной системе координат. При этом разнородная по видам и формам представления информация о местности, полученная со спутников и других источников, интегрируется для ее оперативного использования. Из основных составляющих воздействия на противника (обнаружение – опознавание – целеуказание – поражение) не менее двух плотно привязаны к необходимости иметь точную и актуальную информацию о местности, что предопределяет задачи геоинформационного обеспечения.

Изменения, которые произошли в организационной структуре Топографической службы ВС РФ, свидетельствуют о целенаправленном решении современных задач геоинформационного обеспечения. Имеющиеся сообщения в печати свидетельствуют об активной разработке ГИС военного назначения [10, 11].

В последние два года пополнилась новыми аппаратами группировка космических спутников дистанционного зондирования: «Канопус-В» (запущен 22 июля 2012 г.) и «Ресурс-П» (запущен 25 июня 2013 г. [12]. Активно ведутся работы по применению данных, получаемых с беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство. Технологии заблаговременной топогеодезической подготовки отработаны на протяжении последних десятилетий, в том числе по созданию цифровых топографических карт. Представляется, что остаются нерешенными отдельные вопросы создания геопространственной информации при непосредственной подготовке и ведении боевых действий. Исходная информация, которая поступает от различных источников (аэро- и космическая съемка, БЛА и др.) для оперативного использования в информационной системе управления сетцентрическими боевыми действиями, должна подвергаться фотограмметрической обработке, предусматривающей высокую степень автоматизации. К сожалению, в ЦФС РНОТОМОД, которую предполагается задействовать для этой цели [10, 11], уровень автоматизации технологических процессов недостаточен и не соответствует современным требованиям по данному критерию. Поэтому данная задача является актуальной как по разработке теоретического обоснования, так и по разработке алгоритмов, программного обеспечения и технологий фотограмметрической обработки с целью получения цифровой геопространственной информации.

Таким образом, внедрение концепции сетцентрических боевых действий требует активной разработки ряда проблемных вопросов, в том числе и для создания геопространственной информации. Одна из главных задач, которую необходимо решать при обработке различной первичной информации о местности и противнике фотограмметрическими методами, – это ее автоматизация до уровня получения в перспективе такой информации в режиме реального времени.

### Список используемых источников

1. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2007 г. № 326. О порядке получения, использования и предоставления геопространственной информации. – Режим доступа: <http://www.turclu-bmai.ru/heading/papers/1604/>. – Дата обращения 05.02.2014.
2. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1987.
3. Кондратьев А. Сетецентрический фронт. Боевые действия в едином информационном пространстве // Национальная оборона. – 2011. – № 2.
4. Ковалёв В.И., Матвиенко Ю.А. «Сетецентрическая война» как новая парадигма вооруженной борьбы // Информационные войны. – 2013. – №2 (26) . – С.2-10.
5. Ковалёв В.И., Малинецкий Г.Г., Матвиенко Ю.А. Концепция «Сетецентрической» войны для армии России: «Множитель силы» или ментальная ловушка. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.ru/networks/koncepciya-setecentricheskoj-voyny/>. – Дата обращения 07.02.2014.
6. Сетецентрическая война: дайджест по материалам открытых изданий и СМИ. – М.: ВАГШ ВС РФ, 2010.
7. Савин Л.В. Сетецентричная и сетевая война. Введение в концепцию. – М.: Евразийское движение, 2011. – 130 с.
8. Карякин В.В. Военная политика и стратегия США в геополитической динамике современного мира: монография. – М.: Граница, 2011.
9. Буренок В. М., Кравченко А. Ю., Смирнов С.С. Курс – на сетецентрическую систему вооружения // Воздушно-космическая оборона. – 2009. – №5 (48) – С. 6–13.
10. Беленков О.В. Реализация технологии сетецентрического управления в АСУ войсками и оружием на базе ГИС "Карта 2011". – Режим доступа: // <http://www.gisinfo.ru/item/91.htm>. – Дата обращения 05.02.2014.
11. Демиденко Р.А. Опыт реализации сетецентрической системы управления с использованием ГИС «Оператор». – Режим доступа: // <http://gistechinik.ru/pub/3-publik/94-opit.html>. – Дата обращения 03.02.2014.
12. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // Геоматика. –2013. –№ 2(19).

А.М. Дзитоев;  
Е.В. Лаповок;  
*кандидат техн. наук;*  
С.И. Ханков;  
*доктор техн. наук*

## МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Изложен подход к решению задач определения нестационарных и стационарных тепловых режимов космических объектов на основе метода аналитического моделирования процессов их теплообмена и полного энергетического баланса. Суть метода заключается в аналитическом описании нестационарных средних температур космического объекта. Проведены исследования основных закономерностей формирования нестационарного теплового режима космического объекта сферической формы. Получены аналитические формулы, описывающие высотные зависимости стационарных температур космических объектов с малой термической инерционностью в характерных точках в тени Земли и на освещенном Солнцем участке траектории. Представлены циклограммы изменения во времени температур объекта при движении по эллиптическим траекториям с различными значениями высот апогея. Обоснованы принципы выбора вида математической модели в зависимости от реализуемого уровня температуры космического объекта.

Ключевые слова: космический объект, тепловой режим, нестационарные температуры, высотные зависимости стационарных температур космического объекта.

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальным направлением исследований закономерностей формирования тепловых режимов космических объектов (КО) является разработка аналитических методов расчета. Методы расчетов нестационарных температур КО в околоземном космическом пространстве (ОКП) до последнего времени не разрабатывались. При движении КО по заданным орбитам учет всех необходимых факторов требует составления уравнений нелинейного лучистого теплообмена, которые в общей постановке позволяют получить аналитические решения только для отдельных частных случаев.

В общем виде решение задачи даже для изотермических объектов требует численной реализации, что несколько снижает наглядность получаемых результатов. Поэтому для изучения основных закономерностей, определяющих теплообменные и термоинерционные характеристики КО и их нестационарные температуры, в последние годы стали применяться методы расчетов, сочетающие простоту математических моделей со строгим описанием. В результате получено много полезной информации, представляемой в наглядном виде, а для отдельных случаев удастся получить аналитические решения, строго описывающие процессы теплообмена и зависимости температур КО в ОКП от определяющих параметров [1–7].

Указанные методы не относятся полностью к аналитическим методам расчетов. С одной стороны, математическая модель содержит описание самого процесса и определяющих параметров в аналитическом виде с помощью дифференциальных уравнений первого порядка. С другой стороны, не всегда позволяет получить решение в виде аналитических зависимостей нестационарных температур от всех определяющих параметров. Такие методы относятся к методам, основанным на аналитическом описании исследуемого процесса. При этом математическая модель допускает получение строгих аналитических решений для стационарных тепловых режимов КО, а нестационарные температуры определяются численным решением исходных уравнений. Эти методы можно назвать методами аналитического моделирования (МAM). В отличие от МAM методы численных расчетов не предполагают обязательного описания математической модели дифференциальными или алгебраическими уравнениями в явном аналитическом виде.

Следует отметить, что аналитические методы позволяют получать не только описание средних температур, но и температурных распределений по поверхностям КО, что в наиболее наглядном виде показано на примере расчетов температурных полей тонкопленочных КО [2].

Граница раздела областей возможных получений аналитических решений и численных решений определяется преобладающим процессом формирования теплового режима. Тепловой режим КО формируется двумя его условно независимыми характеристиками – теплообменными и термоинерционными.

Теплообменные характеристики КО в ОКП определяются только балансом поглощаемых и отдаваемых удельных тепловых потоков и в полной мере реализуются для объектов с ничтожно малой полной теплоемкостью. К классу таких объектов относятся те объекты, нестационарные температуры которых полностью определяются изменением во времени одной или нескольких компонент теплового баланса. Температуры КО данного класса мгновенно изменяются в результате изменения внешних тепловых воздействий, а потому их следует отнести к классу безынерционных космических объектов (БКО) [2]. Чаще всего для БКО возможно получение аналитических решений с целью описания их стационарных или нестационарных температур.

Термоинерционные характеристики определяются не только условиями теплообмена, но и полной теплоемкостью КО, а потому зависят от определяющего размера и теплофизических свойств его материала. КО, обладающие термоинерционными характеристиками, можно отнести к классу инерционных КО (ИКО).

Исследование тепловых режимов БКО позволяет выявлять следующие важные закономерности процессов теплообмена:

- определение вклада каждого из факторов теплового воздействия в зависимости от параметров орбиты КО;
- получение в аналитическом виде функций, описывающих высотные зависимости температур КО;
- классификацию КО с точки зрения теплового режима по высоте орбиты, по степени изотермичности при уточнении степени влияния процессов теплопроводности и условий стабилизации в пространстве для уточненных тепловых моделей;
- изучение различия условий формирования тепловых режимов в тени Земли и на солнечном участке траектории.

Исследования ИКО позволяют:

- провести классификацию по принадлежности модели КО к классу ИКО или БКО с определением границ их применимости по признаку величины поверхностной плотности теплоемкости;
- изучить степень влияния термоинерционных характеристик КО на их чувствительность к перемене внешних тепловых воздействий;
- определить амплитуды максимальных и минимальных температур изотермических КО в зависимости от высоты орбиты и периода обращения КО вокруг Земли.

Все КО выпуклой формы с некоторой степенью приближения и в рамках определенного диапазона изменения их геометрических параметров можно привести к одной из типовых конфигураций. Наиболее наглядный результат получается для КО сферической формы. Однако на основе выявленного теплового подобия КО типовых конфигураций [8, 9] можно утверждать, что для выявления основных закономерностей достаточно исследовать сферический КО без потери общности получаемых выводов.

Целью данной работы являлись разработка математической модели общего аналитического описания нестационарных средних температур КО типовых конфигураций с учетом всех тепловых воздействий и проведение исследований нестационарных температур на примере КО сферической формы при его движении по орбитам с разным эксцентриситетом. Кроме

того, ставилась задача определения различий формирования нестационарных температур БКО и ИКО, а также получения аналитического описания высотных зависимостей температур для БКО.

В статье введено понятие и дана трактовка методов аналитического моделирования тепловых режимов КО.

В ОКП тепловой баланс и температурный уровень КО определяют три внешних потока излучения: собственное тепловое излучение Земли, прямое и отраженное Землей солнечные излучения. Прямая солнечная засветка определяется только солнечной постоянной, отраженное Землей солнечное излучение – солнечной постоянной, величиной альбедо Земли и углом на Солнце. Данный угол определяет величину комбинированного коэффициента облученности КО [1].

Теплоотдача от КО в общем случае, когда температура КО выше эффективной температуры Земли, может осуществляться не только в холодное космическое пространство, но и в направлении Земли. В спектре солнечного излучения тепловой поток от Земли к КО преобразуется в тепловую энергию последнего, и теплоотдача в направлении Земли осуществляется в спектре инфракрасного теплового излучения.

Задача решалась в рамках допущений об изотермичности поверхности Земли и при ее диффузном собственном тепловом излучении и отражении солнечного излучения, а также об изотермичности КО.

## ОБЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА КО В ОКП

Уравнение теплового баланса КО выпуклой формы в общем случае имеет вид

$$C_s \frac{dT}{d\tau} + q_s + q_e = Q + Q_w + Q_s + Q_e, \quad (1)$$

- где  $C_s$  – поверхностная плотность теплоемкости КО, Дж/(м<sup>2</sup> К) [2];  
 $T$  – температура КО;  
 $\tau$  – текущее время;  
 $q_s$  – удельный тепловой поток, излучаемый КО в космическое пространство;  
 $q_e$  – результирующий удельный тепловой поток, определяемый теплоотдачей излучением от КО в сторону Земли;  
 $Q$  – удельный тепловой поток излучения Земли, поглощаемый поверхностью КО;  
 $Q_w$  – поверхностная плотность мощности тепловыделений на внешней поверхности КО, обусловленная действием внутренних источников тепловой энергии;  
 $Q_s$  – удельный тепловой поток прямой солнечной засветки, поглощенный поверхностью КО;  
 $Q_e$  – удельный тепловой поток отраженного Землей солнечного излучения, поглощенный поверхностью КО.

Величины  $q_s$  и  $q_e$  определяются из соотношений:

$$q_s = \varepsilon \frac{\Omega_s}{4\pi} \sigma T^4; \quad q_e = \varepsilon \frac{\Omega_e}{4\pi} \sigma (T^4 - T_e^4); \quad \Omega_s + \Omega_e = 4\pi, \quad (2)$$

- где  $\varepsilon$  – степень черноты поверхности КО;  
 $\Omega_s$  – телесный угол, в пределах которого КО излучает в космическое пространство, ср;  
 $\Omega_e$  – телесный угол, под которым с КО видна Земля, ср;  
 $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> К);  
 $T$  – температура на поверхности КО, К;  
 $T_e$  – эффективная температура Земли,  $T_e = 254,8$  К [10].

Поглощаемый поверхностью КО удельный тепловой поток  $Q$  определяется по формуле [1, 2]

$$Q = \varepsilon \varphi Q_0, \quad (3)$$

где  $\varphi$  – коэффициент облученности поверхности КО Землей;

$Q_0$  – удельный тепловой поток, излучаемый Землей на верхней границе атмосферы,  $Q_0 = 239 \text{ Вт/м}^2$  [10].

Поглощаемый удельный тепловой поток прямого солнечного излучения вычисляется по формуле [2]

$$Q_s = \alpha_s \Phi E, \quad (4)$$

где  $\alpha_s$  – коэффициент поглощения поверхностью КО солнечного излучения;

$\Phi$  – отношение площади миделя засвечиваемой Солнцем поверхности КО к его полной площади поверхности, для сферы  $\Phi = 0,25$ ;

$E$  – солнечная постоянная,  $E = 1366 \text{ Вт/м}^2$ .

Удельный поток поглощаемого поверхностью КО отраженного Землей солнечного излучения описывается соотношением

$$Q_e = \alpha_s \varphi_k A E, \quad (5)$$

где  $\varphi_k$  – комбинированный коэффициент облученности КО, равный отношению падающего на КО удельного потока солнечного излучения, отраженного Землей, к солнечной постоянной;

$A$  – глобальное альbedo Земли,  $A = 0,3$  [10].

Анализ телесных углов  $\Omega_s$  и  $\Omega_e$  позволяет выразить соотношения (2) через коэффициент облученности КО Землей  $\varphi$ .

## НЕСТАЦИОНАРНОЕ УРАВНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНА

Подставим (2)–(5) в (1), получим уравнение вида

$$C_s \frac{dT}{dt} + (1 - \varphi) \sigma T^4 + \varphi \sigma f(T, T_e) = \varphi Q_0 + \frac{Q_w}{\varepsilon} + \alpha_s E (\Phi + A \varphi_k), \quad (6)$$

$$f = 0,5 \left[ (T^4 - T_e^4) + |T^4 - T_e^4| \right].$$

Уравнение (6) можно привести к уравнению, содержащему все параметры в безразмерном виде:

$$\frac{dT}{dt} + (1 - \varphi) \theta + \varphi \sigma F(T, T_e) = \varphi + N + \alpha_s M (\Phi + A \varphi_k); \quad (7)$$

$$t = \frac{\tau}{t_T}; \quad t_T = \frac{C_s}{\sigma T_e^4} = \frac{C_s}{Q_0}; \quad F(T, T_e) = 0,5 \left[ (1 - \theta^4) + |1 - \theta^4| \right]; \quad \theta = \frac{T}{T_e}; \quad N = \frac{Q_w}{\varepsilon Q_0}; \quad M = \frac{E}{Q_0}.$$

Коэффициент облученности сферического объекта тепловым излучением Земли  $\varphi_c$  описывается соотношением [2]

$$\varphi_c = 0,5 \left( 1 - \sqrt{1 - \varphi_0} \right); \quad \varphi_0 = \left( \frac{R}{R + h} \right)^2 \quad (8)$$

где  $\varphi_0$  – коэффициент облученности Землей площадки, лежащей в плоскости местного горизонта на высоте над поверхностью Земли  $h$ ;

$R$  – средний радиус Земли,  $R = 6371 \text{ км}$ .

Комбинированный коэффициент облученности для каждой высоты КО над поверхностью Земли, реализуемой в каждый момент времени, вычислялся по методикам, изложенным в [1, 2].

Поверхностная плотность теплоемкости вычисляется через определяющий размер  $L$ , который в случае сферического оболочечного КО равен толщине его стенки  $\Delta$  и описывается формулой [2]

$$C_s = \frac{c_0 V}{S} = c_0 \Delta; \quad c_0 = c\gamma, \quad (9)$$

где  $c_0$  – объемная теплоемкость материала КО;  
 $V$  – объем КО;  
 $S$  – площадь его поверхности;  
 $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> К);  
 $c$  – удельная теплоемкость материала КО;  
 $\gamma$  – его плотность.

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ КО

Для стационарного теплового режима, реализуемого для БКО, решение уравнения (6) можно получить в виде:

$$T = T_e Y; \quad T_e = \sqrt[4]{\frac{Q_0}{\sigma}} = 254.8 \text{ К}; \quad Y = \sqrt[4]{F_e + F_s + F_w}; \quad (10)$$

$$F_e = \frac{(1+k)\varphi_c}{1-(1-k)\varphi_c}; \quad F_s = n_s M \frac{\Phi + A\varphi_k}{1-(1-k)\varphi_c}; \quad F_w = \frac{N}{1-(1-k)\varphi_c} \quad N = \frac{Q_w}{\varepsilon Q_0}; \quad M = \frac{E}{Q_0} = 5,715,$$

$k = 1$  при  $T > T_e$ ,  $k = 0$  при  $T \leq T_e$ .

Принимая значение для сферы  $\Phi = 0,25$  [7] и  $A = 0,3$ , получим конкретное выражение для  $F_s$  в случае абсолютно черной поверхности КО ( $n_s = 1$ ) в виде

$$F_s = \frac{1.429 + 1.715\varphi_k}{1-(1-k)\varphi_c}. \quad (11)$$

Аналитическая функция  $Y(h)$  представляет собой относительную высотную зависимость температуры КО. При  $F_s = 0$  функция  $Y$  является частной функцией, описывающей относительное изменение температуры КО с ростом высоты в тени Земли.

Из (15) и (16) можно получить отношение температур КО для двух случаев: когда принимается  $k = 1$  ( $T_1$ ) и при  $k = 0$  ( $T_2$ ). На солнечной стороне при отсутствии внутренних тепловыделений, пренебрегая малым значением  $\varphi_k$ , что характерно для орбит, близких к полярным, получим

$$K_s = \frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \sqrt[4]{(1-\varphi_c) \left( 1 + \frac{\varphi_c}{\varphi_c + 1,429} \right)}. \quad (12)$$

Соответственно для случая нахождения КО в тени Земли можно получить соотношение

$$K_e = \frac{T_{e1}}{T_{e2}} = \sqrt[4]{2(1-\varphi_c)}. \quad (13)$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ И ИХ АНАЛИЗ

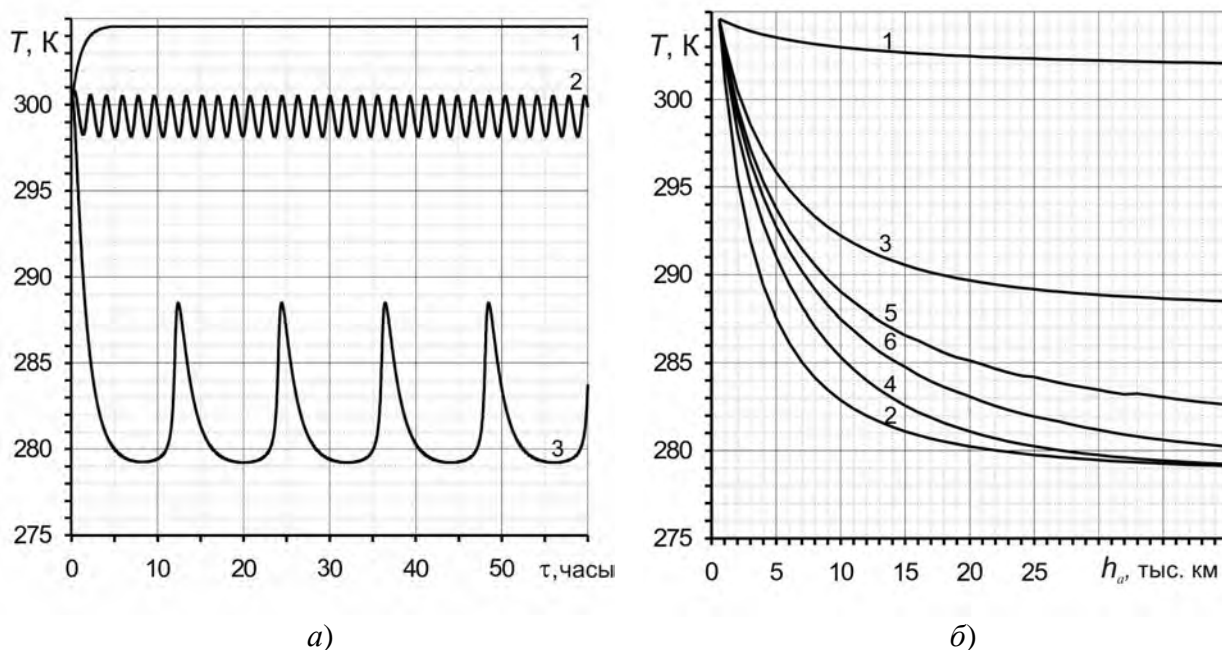
Уравнение (6) решалось при начальном условии  $T(\tau=0) = 300$  К и для условий теплообмена, которые изменяются во времени только для подсветки КО собственным тепловым излучением Земли и отраженным от ее поверхности солнечным излучением. При этом прямое солнечное излучение оставалось постоянным. Такие условия реализуются для случая эллиптической солнечно-синхронной орбиты, лежащей в плоскости, перпендикулярной плоскости эклиптики. Для этого случая изменение во времени комбинированного коэффициента облученности  $\varphi_k$  определяется только изменением высоты над поверхностью Земли и описывается с помощью соотношений, рассмотренных в [4].

Расчеты проводились для сферического КО, движущегося по эллиптическим орбитам с различным эксцентриситетом в случае отсутствия в нем внутренних источников тепловыде-

лений ( $Q_w = 0$ ). В расчетах принималось, что отношение коэффициента поглощения поверхностью КО солнечного излучения к ее степени черноты равно единице, и использовались методики расчета зависимости от времени высоты  $h$  и коэффициентов облученности  $\varphi_c$  и  $\varphi_k$  [4], которые затем подставлялись в дифференциальное уравнение (6).

На рис. 1,а представлены зависимости от времени среднеповерхностной температуры оболочечного сферического КО с толщиной стенки  $\Delta = 1$  см при его движении по орбитам с различными величинами высоты апогея при перигее 600 км. Линия 1 соответствует круговой орбите, а потому после истечения начального времени успокоения температура КО достигает постоянного значения 304,5 К. Линия 2 соответствует высоте апогея 2000 км. При этом эксцентриситет орбиты равен 0,09125, а период обращения – 1,86 ч. Линия 3 соответствует вытянутой эллиптической орбите с апогеем 40000 км, эксцентриситет составляет 0,7386, а период обращения равен двенадцати часам.

На рис. 1,б представлены зависимости максимальных и минимальных температур КО при различных величинах толщины стенки оболочечного сферического КО, которые характеризуют амплитуды колебания температур, возникающие вследствие изменения суммарных тепловых потоков от Земли и их различий в точках апогея и перигея. Эти данные представлены для установившихся периодических колебаний температур после истечения времени переходного процесса от начала вычислений (примерно 3 ч).



а) б)  
Рис. 1. Зависимости температуры сферического КО:

а – зависимость от времени температуры сферического КО с толщиной стенки 1 см при его движении по эллиптическим орбитам с общим перигеем 600 км и различной высотой апогея: линия 1 – 600 км (круговая орбита); линия 2 – 2000 км и линия 3 – 40000 км;

б – зависимость от высоты апогея эллиптической орбиты максимальной и минимальной температуры КО сферической формы с шириной стенки: 1 мм (кривые 1 и 2); 1 см (3 и 4); 5 см (5 и 6)

На основе анализа рис. 1,а можно сделать следующие выводы:

- для круговой орбиты (линия 1), перпендикулярной плоскости эклиптики, через 3 ч после начала отсчета устанавливается постоянная температура, равная 304,5 К;
- по мере роста эксцентриситета орбиты или высоты апогея средний уровень температуры КО понижается, при этом увеличивается амплитуда колебаний температуры, что связано с ростом периода обращения КО вокруг Земли;

– для орбиты с высотой апогея 2000 км ввиду относительно малого периода обращения КО вокруг Земли устанавливаются колебания температур, достаточно близкие к гармоническим, с амплитудой колебания около 2 К;

– в случае вытянутой эллиптической орбиты с высотой апогея 40000 км период обращения составляет около 12 часов, что приводит к росту амплитуды колебаний температуры КО до приблизительно 9 К, при этом реализуются короткие во времени максимумы температур и достаточно продолжительные минимумы, что соответствует длительным временным интервалам нахождения КО в максимальном удалении от Земли и коротким промежуткам времени прохождения КО вблизи точки перигея.

Из рис. 1,б видно, что для малоинерционного КО с толщиной стенки 1 мм реализуется максимальная амплитуда колебания температурного уровня при любой высоте апогея, хотя при уменьшении высоты апогея амплитуда колебаний уменьшается и для круговой орбиты равна нулю. При высотах 5000, 10000 и 40000 км амплитуда колебаний составляет соответственно 16, 20 и 23 К. При толщине стенки 5 см амплитуда колебаний температур даже при величине апогея 40000 км составляет всего 2,5 К. В этом случае с достаточной степенью приближения реализуется модель КО с очень большой термической инерцией, которая сводит к минимуму возможности колебаний температурного уровня относительно среднего значения даже в условиях сильно меняющихся во времени внешних тепловых воздействий.

## ВЫСОТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ СТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУР БКО

Расчет зависимостей стационарных температур БКО от высоты над поверхностью Земли должен проводиться по методикам, различным для теневого и подсвеченного Солнцем участков орбиты.

В тени Земли при отсутствии внутренних тепловыделений средняя стационарная температура КО вычисляется по формуле [2]

$$T_e = 254,84 \sqrt[4]{\frac{\varphi_c}{1 - \varphi_c}}. \quad (14)$$

При нахождении КО на подсвеченном Солнцем участке траектории в точке, соответствующей наибольшей поглощаемой суммарной мощности (КО находится на линии центр Солнца – центр Земли), температуру КО можно определить из соотношения, вытекающего из формул (10), (11) с учетом аналитического описания комбинированного коэффициента облученности из [2],

$$T_s = 254,84 \sqrt[4]{1,429 + \left( 3,715 - 0,42875 \sqrt{\frac{H}{30}} \right) \varphi_c}; \quad H = \frac{h}{1000}, \quad (15)$$

где  $H$  задается в тысячах километров.

Результаты расчетов по формулам (14) и (15) зависимостей от высоты КО над поверхностью Земли его стационарных температур представлены на рис. 2. Как видно из рис. 2, температура КО, с учетом поглощения его поверхностью собственного теплового излучения Земли, отраженного Землей и прямого солнечного излучения, изменяется от 320 до 287 К при увеличении высоты орбиты от 600 до 5000 км. Даже при высоте орбиты 40000 км температура КО равна 279,3 К. Это определяется преобладающим вкладом в тепловой баланс прямого солнечного излучения.

В тени Земли температурный уровень КО существенно ниже, чем на солнечной стороне, при этом его температура падает от 205 до 140 К при увеличении высоты над поверхностью Земли от 600 до 5000 км. Для высоты 40000 км температура КО равна 66,9 К.

Важно отметить, что на солнечной стороне температура КО остается на любой высоте существенно выше уровня эффективной температуры Земли 254,8 К, а на теневой – ниже этого уровня. Это подтверждает правомерность выбора моделей для солнечного участка, ко-

гда принимается условие  $k = 1$ , с учетом которого получено соотношение (15), а также для теневого участка – формула (14) предполагает выполнение условия  $k = 0$ . Что касается количественных значений, обоснованием существенного различия температурных уровней в тени Земли и на солнечном участке может служить график зависимости интегрального коэффициента облученности сферы подсветкой Земли, показанный на рис. 3. Относительно малая величина  $\varphi_c$ , резко уменьшающаяся с высотой, определяет доминирование первого слагаемого под корнем в формуле (15). Это слагаемое определяется удельной мощностью прямого солнечного излучения. Все величины постоянных коэффициентов в формуле (15), в свою очередь, определяются фундаментальными константами, входящими в формулу (10) с учетом принятого значения  $n_s = 1$ .

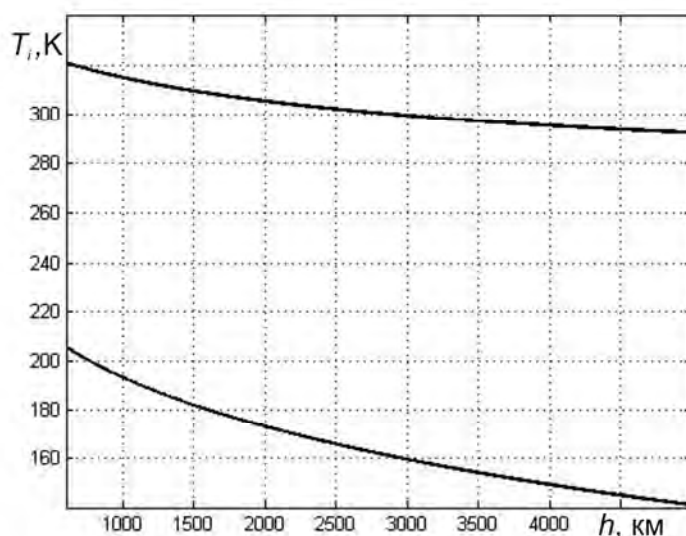


Рис. 2. Зависимости от высоты над поверхностью Земли температур КО с абсолютно черной поверхностью на освещенном Солнцем участке траектории в точке максимальной суммарной поглощаемой мощности подсветки Земли и Солнца (верхняя линия) и в тени Земли (нижняя линия)

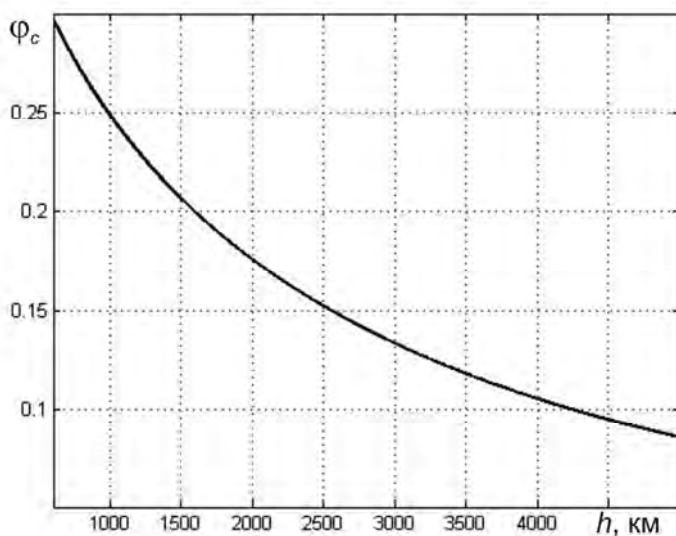


Рис. 3. Зависимость от высоты над поверхностью Земли интегрального коэффициента облученности сферического КО собственным тепловым излучением Земли

На рис. 4 показаны зависимости от высоты КО над поверхностью Земли коэффициентов  $K_s$  и  $K_e$ , вычисленные по формулам (12) и (13) с учетом зависимостей интегральных коэффициентов облученности  $\varphi_c$  от высоты  $h$  вида (8).

Как видно из рис. 4, величина коэффициента  $K_s$  во всем диапазоне изменения высот меньше единицы. Асимптотой этой зависимости является значение ординаты  $K_s = 1$ . Для геостационарной орбиты значение  $K_s$  отличается от асимптотического менее чем на 0,5 %. Это означает, что при солнечной подсветке необходимо включать в тепловой баланс результирующий лучистый тепловой поток от КО к Земле. В данном случае в моделях расчета следует принимать  $k = 1$ , в результате чего расчет температуры КО должен проводиться по формуле (15). В противном случае в результате расчетов температурный уровень КО будет завышаться, и особенно существенно при малых высотах.

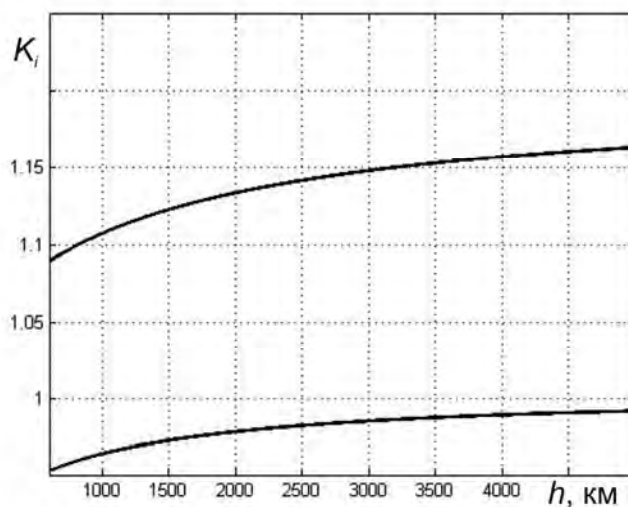


Рис. 4. Зависимости от высоты над поверхностью Земли коэффициентов  $K_s$  (нижняя линия) и  $K_e$  (верхняя линия)

Из рис. 4 также следует, что значение коэффициента  $K_e$  при всех высотах больше единицы. Для геостационарной орбиты асимптотическое значение  $K_e$  равно 1,1878. Следовательно, учет результирующего потока излучения от КО в сторону Земли на теневом участке недопустим, поскольку этот результирующий поток отрицателен и формально создает дополнительный учет теплового влияния Земли. В данном случае необходимо принимать  $k = 0$ .

Следует отметить, что и на теневом и на освещенном Солнцем участках при высоте 5000 км значения коэффициентов  $K_s$  и  $K_e$  близки к их асимптотическим значениям. С дальнейшим ростом высоты практически прекращается накопление ошибки, обусловленной неправильным выбором расчетной модели.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье сформулирована сущность методов аналитического моделирования, заключающаяся в аналитическом описании общего теплового баланса КО нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка. Решение нестационарных задач осуществляется численным интегрированием и включает этапы решения баллистической задачи и определения коэффициентов облученности КО собственным тепловым излучением Земли и отраженным Землей солнечным излучением.

Математическая модель основана на нелинейном дифференциальном уравнении (6), которое включает описание всех факторов тепловых воздействий на КО в ОКП. Это уравнение используется для расчетов нестационарных температур КО при его движении по эллиптиче-

ским и круговой орбитам. Конкретные расчеты проведены для солнечно-постоянных эллиптических орбит с различными эксцентриситетами.

Дифференциальное уравнение вида (7) удобно использовать для анализа БКО, и оно позволяет в наглядном виде описать высотные зависимости стационарных температурных уровней КО соотношениями (10).

Исследования проведены для космического объекта сферической формы, однако предложенная методика пригодна и для расчетов объекта любой выпуклой формы, например, цилиндрической или конической, для которых ранее были разработаны методики расчетов коэффициентов облученности [8, 9].

### Список используемых источников

1. Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды / под ред. Г.П. Петрова. – М.: Машиностроение, 1971. – 382 с.
2. Каменев А.А., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитические методы расчета тепловых режимов и характеристик собственного теплового излучения объектов в околоземном космическом пространстве. – СПб.: НТЦ им. Л.Т. Тучкова, 2006. – 186 с.
3. Баёва Ю. В., Лаповок Е. В., Ханков С. И. Методика расчета нестационарных температур космического объекта на круговых орбитах // Известия вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, №12. – С. 51–56.
4. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Методика расчета нестационарных температур космического объекта, движущегося по эллиптической орбите // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6 (88). – С. 67–72.
5. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитическая методика расчета тепловых потоков в околоземном космическом пространстве, формирующих тепловой режим космических телескопов // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 5. – С. 30–37.
6. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Метод поддержания заданного температурного диапазона космического аппарата, движущегося по круговой орбите с заходом в тень Земли // Известия вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, №7 – С. 56–61.
7. Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитическое описание нестационарных температур изотермического объекта в условиях его лучистого теплообмена с окружающей средой // Известия вузов. Приборостроение. – 2012. – Т.55, №3. – С. 56–60.
8. Дзгоев А.М., Ханков С.И. Методика расчета коэффициентов облученности цилиндрического космического объекта подсветкой Земли // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 1 (89). – С. 145–150.
9. Дзгоев А.М., Ханков С.И. Тепловое подобие космических объектов типовых конфигураций // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 2 (90). – С. 130–136.
10. Trenberth K.E., Fasullo J.T., Keihl J. Earth's global energy budget // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 2009. – V. 90, №3. – P. 311–323.

Д.Ф. Бескостый,  
кандидат техн. наук, доцент

## РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РАЗНЕСЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ

Решена задача синтеза алгоритма обработки сигналов в разнесенном радиолокационном комплексе, использующем в качестве источника излучения обзорную радиолокационную станцию с заранее неизвестными или изменяющимися параметрами зондирующего сигнала. Предлагается вариант реализации устройства цифровой адаптивной свертки, учитывающий априорную неопределенность параметров модуляции сигналов.

Ключевые слова: разнесенный радиолокационный комплекс, алгоритм обработки сигналов, коррелятор, адаптивная цифровая свертка сигналов.

### ВВЕДЕНИЕ

Возможности активных сил ВКО по уничтожению средств воздушного нападения противника в решающей степени определяются качеством информации о воздушной обстановке. В настоящее время основными источниками такой информации являются совмещенные радиолокационные станции (РЛС) РТВ. Однако в условиях развития и широкого использования противником технологии «СТЕЛС», интенсивных помех и высокоточного оружия эффективность их применения существенно снижается, что снижает информационные возможности всей радиолокационной системы.

Одним из направлений решения этой проблемы является повышение скрытности работы и живучести радиолокационных средств, что затрудняет их разведку и уничтожение. Повышение скрытности может быть достигнуто за счет управления излучаемой мощностью, использования сложномодулированных сигналов, энергия которых распределена в широкой полосе частот, применения пассивных комплексов радиотехнической разведки и др.

Находят развитие методы обнаружения воздушных целей, облученных «посторонними» внешними источниками излучения, такими, как телевизионные передатчики, передатчики сотовой связи. Однако, учитывая то, что в ходе боевых действий стационарные передающие устройства будут уничтожаться, такие методы пригодны только в мирное время. С другой стороны, в ходе боевых действий применяются многочисленные радиоэлектронные средства (РЭС). Любая точка пространства гарантированно «освещается» несколькими РЭС в разных диапазонах. Проведенный анализ показывает, что наиболее перспективными источниками подсвета для рассматриваемой разнесенной системы являются обзорные РЛС. Методы получения координатной информации о воздушных объектах, основанные на использовании энергии, излучаемой РЛС противника, относятся к скрытной радиолокации (СРЛ).

Скрытная радиолокация предполагает объединение методов радиотехнической разведки и разнесенной радиолокации и позволяет определять координаты как самих излучающих РЭС, так и подсвеченных ими воздушных целей. Передающие устройства, сигналы которых могут использоваться комплексами разнесенной скрытной радиолокации, должны «подсвечивать» маловысотные цели вблизи приемной позиции, т.е. располагаться на большой высоте. Поэтому представляет интерес оценка возможностей использования РЛС авиационных комплексов дальнего обнаружения в качестве источников подсвета.

Особенности функционирования разнесенных радиолокационных систем с быстропереключающимся передающим пунктом изучены недостаточно.

В частности, требуют уточнения методы получения координатной информации, методы обзора по пространственно-временным и частотным координатам, методы обработки сигналов и др.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Полезными сигналами, поступающими на входы приемных устройств в рассматриваемой системе, будут сигналы, отраженные от воздушных целей, облученных опорными импульсными передатчиками, и прямые сигналы этих передатчиков. Прямой сигнал (ПС) опорной РЛС, излученный по боковым лепесткам диаграммы направленности ее антенны (ДНА), может быть использован как опорный для обработки отраженного сигнала (ОС). Обработка ОС с использованием ПС в качестве опорного будет являться когерентной независимо от вида зондирующего сигнала. Помехами при обнаружении низколетящих целей являются отражения от земной поверхности (ОЗП) и собственные шумы приемников [1, 2]. Активные помехи во внимание не принимаются, так как их применение маловероятно.

Необходимо синтезировать обобщенный алгоритм обработки сигналов для разнесенного радиолокационного комплекса, использующего в качестве передающего устройства обзорную РЛС с заранее неизвестными или изменяющимися параметрами зондирующего сигнала, а также разработать предложения по технической реализации устройства обработки.

Для формирования опорного сигнала в устройстве обработки необходим отдельный приемный канал ПС, в котором имеются внутренние шумы и возможны помехи.

В алгоритме обработки необходимо учитывать следующие особенности функционирования комплекса:

а) опорный сигнал формируется на выходе приемного канала ПС и может содержать интенсивные шумы;

б) прямой сигнал может быть помехой при небольших угловых расстояниях между опорной РЛС и целью и малых рассогласованиях по частотно-временным параметрам.

Будем рассматривать обработку отраженного сигнала в одном пространственном канале.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

На антенную систему канала ОС поступают сигнал, отраженный от цели и ПС опорной РЛС. В приемнике имеется внутренний шум.

По принятой реализации выдвигаются две гипотезы:

–  $H_1$  – сигнал есть, в этом случае  $\vec{\xi} = \vec{S}_Ц + \vec{S}_{ПС} + \vec{n}$ ;

–  $H_0$  – сигнала нет,  $\vec{\xi} = \vec{S}_{ПС} + \vec{n}$ , где  $\vec{\xi}$  – принятая реализация;  $\vec{S}_Ц$  – сигнал, отраженный от цели;  $\vec{S}_{ПС}$  – прямой сигнал опорной РЛС;  $\vec{n}$  – внутренние шумы в канале обработки сигнала.

Прямой сигнал  $S_{ПС} = b_{ПС} \cdot S(t, \alpha_{ПС}) \cdot e^{j\varphi_{ПС}}$ , где  $b_{ПС}$  – амплитудный множитель;  $\alpha_{ПС}$  – информационный параметр;  $\varphi_{ПС}$  – начальная фаза прямого сигнала, отличается от полезного сигнала, отраженного от цели  $S_Ц = b_Ц \cdot S(t, \alpha_Ц) \cdot e^{j\varphi_Ц}$  интенсивностью и значением информационного параметра  $\alpha$ .

Начальная фаза прямого сигнала  $\varphi_{ПС}$  распределена равномерно в интервале от 0 до  $2\pi$ , амплитудный множитель  $b_{ПС}$  – по релеевскому закону, причем  $M[b_{ПС}^2] = 1$ .

Корреляционная матрица мешающего прямого сигнала имеет вид

$$\Phi_{ПС} = M \left\{ \frac{1}{2} [b_{ПС} \cdot S(t, \alpha_{ПС}) \cdot e^{j\varphi_{ПС}}] \cdot [b_{ПС} \cdot S(t, \alpha_{ПС}) \cdot e^{j\varphi_{ПС}}]^* \right\} = \frac{1}{2} S(t, \alpha_{ПС}) \cdot S^{*T}(t, \alpha_{ПС}). \quad (1)$$

Будем полагать, что внутренние шумы в элементах антенной решетки некоррелированы и равны. Тогда корреляционная матрица шумов имеет вид

$$\Phi_n = N_0 \cdot I \cdot \delta(t - \tau), \quad (2)$$

где  $N_0$  – спектральная плотность шумов;

$I$  – единичная матрица;

$\delta$  – дельта-функция.

Шум и мешающий прямой сигнал – независимые колебания. Корреляционная матрица их суммы равна сумме корреляционных матриц

$$\Phi(t, \tau) = N_0 I \delta(t - \tau) + \frac{1}{2} S(t, \alpha_{PC}) \cdot S^{*T}(t, \alpha_{PC}). \quad (3)$$

Для того чтобы получить алгоритм оптимальной обработки сигнала, отраженного от цели, необходимо найти весовой вектор  $R(\tau)$  и подставить (3) в интегрально-матричное уравнение весового вектора:

$$\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(t, \tau) \cdot R(\tau) d\tau = S(t, \alpha_C), \quad (4)$$

где  $\alpha_C$  – информационный параметр полезного сигнала, отраженного от цели.

Проведя ряд преобразований, получим следующее выражение:

$$R(t) = \frac{2}{N_0} [S(t, \alpha_C) - a_{PC} \cdot S(t, \alpha_{PC})]. \quad (5)$$

Введем нормированную комплексную функцию рассогласования прямого сигнала и сигнала отраженного от цели в виде:

$$\rho(\alpha_C, \alpha_{PC}) = \frac{1}{2\sqrt{\mathcal{E}_C \mathcal{E}_{PC}}} \int_{-\infty}^{\infty} S^T(t, \alpha_C) \cdot S^*(t, \alpha_{PC}) dt. \quad (6)$$

Тогда

$$\begin{aligned} a_{PC} &= \frac{1}{2N_0} 2\sqrt{\mathcal{E}_C \mathcal{E}_{PC}} \rho(\alpha_C, \alpha_{PC}) - a_{PC} \frac{2\mathcal{E}_C}{2N_0} = \\ &= \frac{\sqrt{K_C K_{PC}}}{1 + K_{PC}} \rho(\alpha_C, \alpha_{PC}), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $K_C = \frac{\mathcal{E}_C}{N_0}$ ,  $K_{PC} = \frac{\mathcal{E}_{PC}}{N_0}$  – энергетические параметры, учитывающие интенсивность полезного и мешающего сигналов.

Окончательно выражение для весового вектора имеет вид:

$$R(t) = \frac{2}{N_0} \left[ S(t, \alpha_C) - \frac{\sqrt{K_C K_{PC}}}{1 + K_{PC}} S(t, \alpha_{PC}) \rho(\alpha_C, \alpha_{PC}) \right]. \quad (8)$$

Отсюда полученный обобщенный алгоритм обработки сигналов от целей в разнесенном комплексе с учетом прямого сигнала будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} \zeta &= \int_{-\infty}^{\infty} \xi(t) R(t, \alpha_C, \alpha_{PC}) dt = \\ &= \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} \xi(t) S(t, \alpha_C) dt - \frac{2}{N_0} \frac{\sqrt{K_C K_{PC}}}{1 + K_{PC}} \rho(\alpha_C, \alpha_{PC}) \int_{-\infty}^{\infty} \xi(t) S(t, \alpha_{PC}) dt, \end{aligned} \quad (9)$$

- где  $\zeta$  – весовая сумма (достаточная статистика);  
 $\xi(t)$  – принимаемая реализация в канале ОС;  
 $\alpha_{Ц}, \alpha_{ПС}$  – информационные параметры ОС и ПС;  
 $R(t, \alpha_{Ц}, \alpha_{ПС})$  – весовая функция;  
 $N_0$  – спектральная плотность помех;  
 $S(t, \alpha_{Ц})$  – опорный сигнал с ожидаемым параметром  $\alpha_{Ц}$ ;  
 $S(t, \alpha_{ПС})$  – сигнал, принимаемый в канале ПС;  
 $\rho(\alpha_{Ц}, \alpha_{ПС})$  – нормированная функция рассогласования ПС и ОС.

Структурная схема этого алгоритма для одного квадратурного канала показана на рис. 1, где ФОС – это формирователь опорного сигнала, который из выделенного ПС создает набор опорных сигналов, отличающихся параметром  $\alpha_{Ц}$ . Диапазон изменения  $\alpha_{Ц}$  должен перекрывать возможные значения этого параметра в канале ОС.

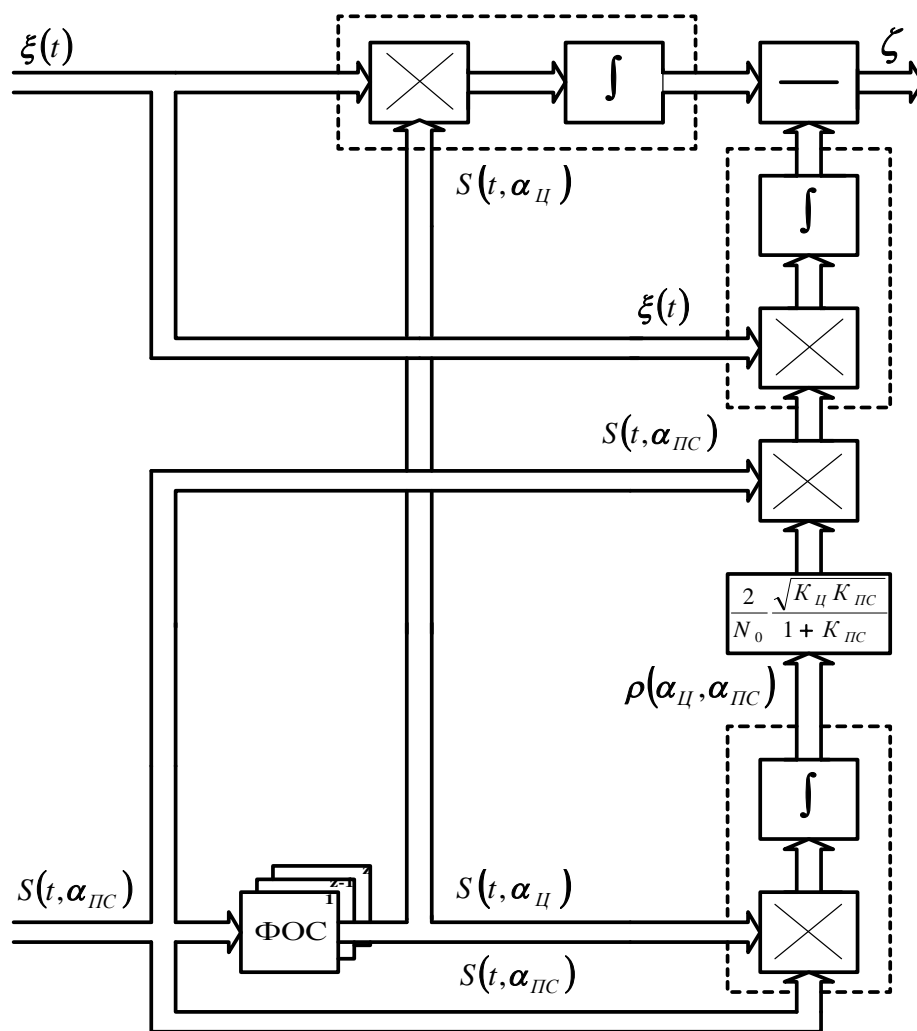


Рис. 1. Структурная схема обобщенного алгоритма обработки сигналов в разнесенном комплексе радиолокации

Как следует из алгоритма, устройство обработки комплекса вычисляет три взаимокорреляционные функции: а) между принятой реализацией в канале ОС  $\xi(t)$  и опорным сигналом  $S(t, \alpha_{Ц})$ ; б) между прямым  $S(t, \alpha_{ПС})$  и опорным  $S(t, \alpha_{Ц})$  сигналами для получения функции рассогласования  $\rho(\alpha_{Ц}, \alpha_{ПС})$ ; в) между принятой реализацией в канале

ОС  $\xi(t)$  и нормированным с учетом энергетических параметров  $K_{Ц}$ ,  $K_{ПС}$  и функции  $\rho(\alpha_{Ц}, \alpha_{ПС})$  прямым сигналом.

Таким образом, основной операцией обработки является вычисление функции корреляции, а блок коррелятора является основой технической реализации устройства обработки сигналов в разнесенном комплексе. Характеристики коррелятора во многом определяют эффективность обнаружителя. Сложность технической реализации коррелятора в многоканальном разнесенном комплексе может поставить под вопрос целесообразность построения самого комплекса.

Рассмотрим вариант технической реализации устройства обработки сигналов для разнесенного комплекса, использующего в качестве передатчика обзорную РЛС с априорно неизвестными или изменяющимися параметрами зондирующего сигнала.

При реализации цифровых методов обработки сигналов коды прямого сигнала опорной РЛС могут использоваться как коэффициенты импульсной характеристики для свертки отраженных от целей сигналов до прихода следующего прямого сигнала. Поэтому отдельные элементы обобщенного алгоритма будут предполагать собой выполнение операции свертки.

Из [3, 4] известны цифровые устройства, позволяющие решать задачи выполнения операции свертки радиолокационных сигналов во временной области. Общим недостатком данных устройств является невозможность их применения для обработки сигналов с неизвестными параметрами модуляции, что обусловлено жесткой прошивкой кодов результата перемножения коэффициентов импульсной характеристики на величину принятого сигнала в ПЗУ и отсутствием возможности внешнего управления запоминающим устройством (ЗУ) импульсной характеристики.

Указанные недостатки ограничивают возможность использования свертывающего устройства в условиях неизвестных или изменяющихся параметров модуляции сигналов опорного передатчика, что характерно для разрабатываемой разнесенной системы. Это приводит к необходимости усовершенствования данного устройства с целью расширения его функциональных возможностей за счет адаптации к изменяющимся параметрам.

Поставленная цель достигается тем, что в известное ранее устройство, которое содержит ЗУ кодов принятых отраженных сигналов (КПОС), блок умножения, входы которого соединены с выходами ЗУ КПОС, и сумматор, входы которого соединены с выходами блока умножения, вводятся блок адаптации и ЗУ кодов сигнала опорного передатчика (КСОП). Входом устройства является вход ЗУ КПОС, а выходом – выход сумматора [5].

Структурная схема устройства адаптивной цифровой свертки показана на рис. 2. Устройство адаптивной цифровой свертки работает следующим образом. Коды отраженных от целей сигналов поступают на первый вход ЗУ КПОС. С первого выхода блока адаптации на второй вход ЗУ КПОС непрерывно поступают тактовые импульсы с заданным периодом дискретизации. Эти импульсы обеспечивают сдвиг (продвижение) кодов принятых отраженных сигналов в регистрах сдвига ЗУ КПОС.

ПС опорного передатчика поступает на вход блока адаптации. На втором выходе блока адаптации тактовые импульсы появляются только во время действия ПС. Они поступают на первый вход ЗУ КСОП и обеспечивают сдвиг кодов ПС, которые появляются на третьем выходе блока адаптации и поступают на второй вход ЗУ КСОП также во время действия ПС. После окончания прямого сигнала ЗУ КСОП оказывается заполненным и до прихода следующего ПС его содержимое не изменяется.

С выходов одинаковых по номеру разрядов ЗУ КПОС и ЗУ КСОП цифровые коды поступают соответственно на первые и вторые входы умножителей блока умножения, где происходит их перемножение. С выходов умножителей блока умножения коды результатов перемножения поступают на входы сумматора, где происходит их сложение. На выходе сумматора формируется код суммы, который является кодом результата свертки в каждом периоде дискретизации.

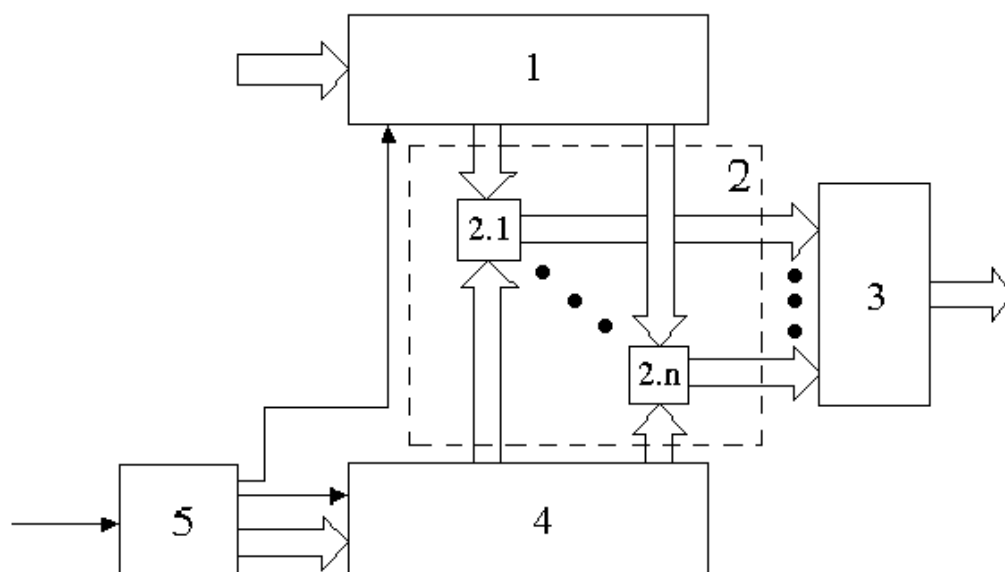


Рис. 2. Структурная схема устройства адаптивной цифровой свертки:

1 – ЗУ кодов принятых отраженных сигналов; 2 – блок умножения; 2.1–2.n – умножители; 3 – сумматор; 4 – ЗУ кодов сигнала опорного передатчика; 5 – блок адаптации

Структурная схема блока адаптации показана на рис. 3.

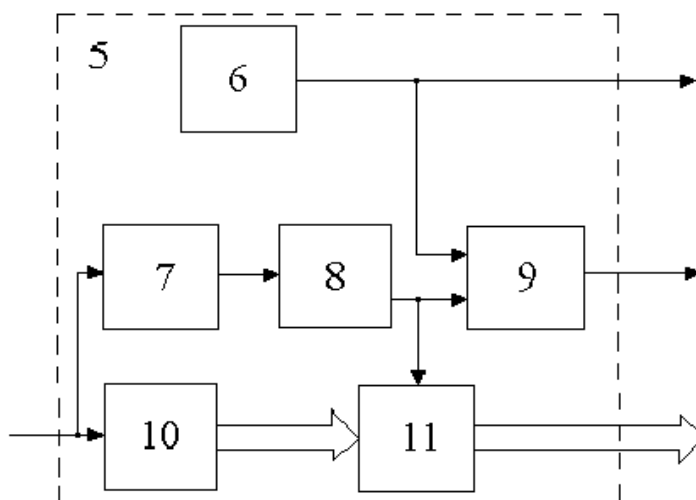


Рис. 3. Структурная схема блока адаптации

6 – генератор тактовых импульсов; 7 – амплитудный детектор; 8 – компаратор; 9 – временной селектор; 10 – АЦП; 11 – коммутирующее устройство

Блок адаптации работает следующим образом. Тактовые импульсы с ГТИ непрерывно поступают на первый выход блока адаптации и на первый вход временного селектора. ПС опорного передатчика поступает на АЦП и на амплитудный детектор. На выходе АЦП формируется код сигнала опорного передатчика, который является кодом коэффициентов импульсной характеристики.

Этот код поступает на коммутирующее устройство. Амплитудный детектор выделяет огибающую импульса сигнала опорного передатчика. Выделенная огибающая поступает на

пороговый компаратор, где сравнивается с заданным порогом. При превышении огибающей порога, а это произойдет при приеме мощного ПС опорного передатчика, на выходе порогового компаратора будет сформирован прямоугольный импульс, длительность которого будет равна длительности импульса ПС опорного передатчика. Этот импульс поступает на второй вход временного селектора, разрешая прохождение тактовых импульсов с ГТИ на выход временного селектора, являющийся вторым выходом блока адаптации и на вторые входы коммутирующего устройства, открывая его. В течение длительности импульса код ПС поступает на выход коммутирующего устройства, являющийся третьим выходом блока адаптации. После окончания импульса ПС на выходе порогового компаратора появится уровень логического нуля, который запретит прохождение тактовых импульсов на второй выход блока адаптации и кодов ПС на третий выход блока адаптации.

В следующем периоде излучения опорного передатчика сразу после поступления первого ПС опорного передатчика блок адаптации заполнит ЗУ КСОП кодами, соответствующими новому импульсу ПС, чем обеспечит адаптацию цифрового свертывающего устройства к изменению вида прямого сигнала или параметров его внутриимпульсной модуляции и оптимальную обработку (свертку) отраженных от целей сигналов.

Таким образом, введение новых элементов и новых связей позволяет расширить функциональные возможности цифрового свертывающего устройства за счет адаптации к изменению параметров и вида модуляции сигналов опорного передатчика для рассматриваемой разнесенной системы.

### Список используемых источников

1. *Ширман Я.Д., Манжос В.Н.* Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981.
2. *Бескостый Д.Ф., Косарев О.В.* Обработка сигналов в комплексе скрытной радиолокации // Анализ и прогнозирование систем управления: труды 7-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. – СПб.: СЗТУ, 2006.
3. *Лихарев В.А.* Цифровые методы и устройства в радиолокации. – М.: Сов. радио, 1973.
4. *Кузьмин С.З.* Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986.
5. Пат. 2390792 Рос. Федерация, МПК G01S 7/292. Адаптивное цифровое свертывающее устройство / Д.Ф.Бескостый, О.В.Косарев, А.И.Митюшов, О.В.Галаган. – Опубл. 2010. – Бюл. № 15.

Р.В. Катюха;  
С.В. Логунов;  
Д.А. Рогов,  
*кандидат тех. наук, доцент*

## **МЕТОДИКА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, РЕАЛИЗУЕМАЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Предложен способ для многопараметрической идентификации технического состояния с использованием нечетких логических уравнений, которые строятся на базе матрицы знаний и системы логических высказываний. Они позволяют вычислить значения функций принадлежности различных результатов идентификации при фиксированных значениях телеметрических параметров.

Ключевые слова: нечеткая логика, идентификация, телеметрические параметры, космические аппараты.

В практических задачах идентификации наиболее широкое применение нашли методы параметрической идентификации. Для их применения необходимо иметь в качестве априорной информации уравнения модели объекта, в которых могут быть неизвестны только некоторые параметры. В зависимости от критерия идентификации или алгоритма, применяемого для вычисления неизвестных параметров, эти методы получили различные названия: метод максимального правдоподобия, метод байесовских оценок, метод фильтра Калмана, метод наименьших квадратов, метод осредненных невязок, метод стохастической аппроксимации [1].

Трудность применения данных методов [2] состоит в следующем:

1. Модель объекта «входы-выход», как правило, не имеет явной интерпретации.
2. Отсутствует прямая возможность работы с переменными «входы-выход», которые имеют качественную природу.
3. Отсутствует прямая возможность использования информации о структуре объекта в виде словесных высказываний «ЕСЛИ–ТО», полученных на основе опыта человека.

Таким образом, современная теория идентификации, которая базируется на моделировании динамических объектов уравнениями, плохо приспособлена для использования экспертных знаний.

Предлагается задачу построения системы идентификации осуществлять методом структурной идентификации. Такая идентификация является традиционной для технологии нечетких экспертных систем. Здесь осуществляется грубая настройка модели технического состояния космических аппаратов путем построения нечеткой базы знаний (НБЗ) по доступной экспертной информации, при этом аппроксимируемая связь такой модели определяется качеством функции принадлежности (ФП), с помощью которых лингвистические оценки переходят в количественную форму. В связи с тем, что ФП определяются экспертным путем, адекватность НБЗ целиком будет зависеть от квалификации экспертов.

Результат идентификации можно представить в виде выражения

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – набор значений телеметрических параметров (ТМП);  $y$  – результат идентификации.

Области изменения ТМП  $x_i \in [\underline{x}, \overline{x}]$ ,  $i = \overline{1, n}$  и выходного значения результата идентификации  $y \in [\underline{y}, \overline{y}]$  считаются известными. Здесь  $\underline{x}_i(\overline{x}_i)$  – нижнее (верхнее) значение ТМП  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $\underline{y}(\overline{y})$  – нижнее (верхнее) значение результата идентификации  $y$ .

Пусть  $X^\bullet = (x_1^\bullet, x_2^\bullet, \dots, x_n^\bullet)$  – вектор фиксированных значений ТМП, где  $x_i^\bullet \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Задача принятия решения состоит в том, чтобы на основе информации о векторе  $X^\bullet$  определить результат идентификации  $y^\bullet \in Y$ . Необходимым условием формального решения этой задачи является наличие зависимости (1). Для установления такой зависимости необходимо рассматривать ТМП и выходные переменные как линейные преобразования (ЛП), заданные на универсальных множествах [4]:

$$X_i = [\underline{x}_i, \overline{x}_i], Y = [\underline{y}, \overline{y}]. \quad (2)$$

Для оценки таких ЛП предлагается использовать качественные термы.

Лингвистические термы  $a_i^p \in A_i$  и  $d_j \in D$ ,  $p = \overline{1, k_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$  необходимо рассматривать как нечеткие множества, заданные на универсальных множествах  $X_i, Y$  (2).

Нечеткие множества  $a_i^p$  и  $d_j$  определяются соотношениями [4]:

$$a_i^p = \int_{x_i}^{\overline{x}_i} \mu^{a_i^p}(x_i) / x_i. \quad (3)$$

$$d_j = \int_d^{\overline{d}} \mu^{d_j}(d) / d. \quad (4)$$

Рассмотрим модель идентификации технического состояния космических аппаратов с помощью НБЗ.

Пусть являются известными: множество решений  $D = \{d_j\}$ , ( $j = \overline{1, m}$ ), соответствующих выходной оценке  $y$ ; множество входных ТМП  $X = \{x_i\}$ , ( $i = \overline{1, n}$ ); диапазоны количественного изменения каждого ТМП  $x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ ,  $i = \overline{1, n}$ ; ФП, позволяющие представить ТМП  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  в виде нечетких множеств (3), (4) и полученные по методике, изложенной в работе [9]; матрица знаний, определенная по правилам, введенным в работе [5].

Требуется разработать алгоритм принятия решения, позволяющий поставить в соответствие фиксированному вектору входных параметров  $X^\bullet = (x_1^\bullet, x_2^\bullet, \dots, x_n^\bullet)$ ,  $x_i^\bullet \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$  решение  $y^\bullet \in D$ .

Задачу идентификации можно изобразить графически (рис. 1).

В общем случае входные переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  могут задаваться числом, лингвистическим термом и по принципу термометра [6].

Идея предлагаемого метода для решения такой задачи состоит в использовании нечетких логических уравнений.

Связь между ФП определяется НБЗ и может быть представлена в виде следующих логических уравнений:

$$\begin{aligned} \mu^{d_1}(x_1, x_2, \dots, x_n) = & \mu^{a_1^{11}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{11}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_1^{12}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{12}}(x_2) \wedge \dots \\ & \dots \wedge \mu^{a_n^{12}}(x_n) \vee \dots \vee \mu^{a_1^{pj}}(x_1) \wedge \mu^{a_2^{pj}}(x_2) \wedge \dots \wedge \mu^{a_n^{pj}}(x_n), j = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (5)$$

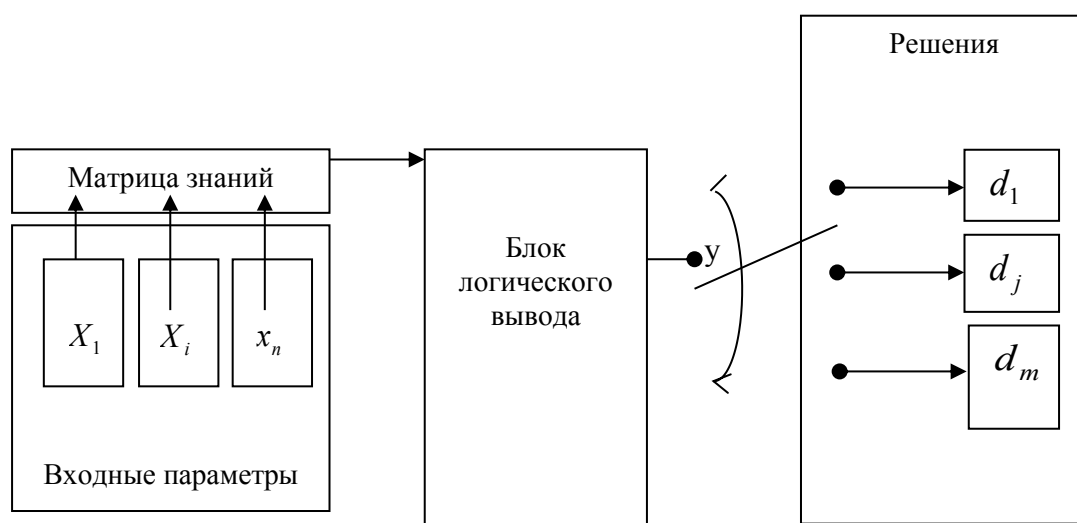


Рис. 1. Задача идентификации сбоев аппаратуры на борту КА

Эти уравнения получены из НБЗ путем замены лингвистических термов на их ФП, а операции И и ИЛИ – на операции  $\wedge$  и  $\vee$ .

Кратко систему (5) запишем следующим образом:

$$\mu^{d_j}(x_1) = \bigvee_{p=1}^{l_i} \left[ \bigwedge_{i=1}^n \mu^{a_{ip}}(x_i) \right], \quad j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Нечеткие логические уравнения являются аналогом введенной задержки процедуры нечеткого логического вывода [7], которая осуществляется с помощью операции «нечеткая (min–max) композиция».

Учитывая, что в теории нечетких множеств операциям  $\wedge$  и  $\vee$  соответствуют операции min–max [8], из выражения (6) получаем:

$$\mu^{d_1}(x_i) = \max_{p=1, l_j} \left\{ \min_{j=1, n} \left[ \mu^{d_1^*}(x_1) \right] \right\}. \quad (7)$$

Из выражения 7 видно, что для расчета по этой формуле необходимо иметь лишь ФП переменных нечетким термам.

Нечеткие логические уравнения (5)–(7) вместе с ФП нечетких термов позволяют принять решение по техническому состоянию космических аппаратов в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Фиксируется значение ТМП технического состояния КА:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$$

2. Используя методику определения ФП, определяют ФП  $\mu^j(x_i^*)$  при фиксированных значениях параметров  $x_i^*$ ,  $i = \overline{1, m}$ .

3. Используя логические уравнения, вычисляют значения ФП  $\mu^{d_1}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$  при векторе состояния  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$  для всех состояний  $(d_1^*, d_2^*, \dots, d_n^*)$ . При этом логические операции И ( $\wedge$ ) и ИЛИ ( $\vee$ ) над ФП заменяются на операции min и max:

$$\mu(x) \wedge \mu(y) = \min[\mu(x), \mu(y)], \quad \mu(x) \vee \mu(y) = \max[\mu(x), \mu(y)]$$

4. Определяется решение  $d_j^*$ , для которого

$$\mu^{d_j^*}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*) = \max_{j=1, m} [\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)].$$

Таким образом, предложенная методика представляет собой взаимосвязанную совокупность математических моделей и алгоритмов, обеспечивающих возможность использования доступной экспертной информации для оценки технического состояния космического аппарата и исследования зависимости технического состояния от влияющих на него параметров телеметрической информации.

### Список используемых источников

1. *Прангишвили И.В.* Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: Синтег, 2000.
2. *Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г.* Рефлексивные игры. – М: Синтег, 2003.
3. *Катюха Р.В.* Использование теории нечетких множеств и лингвистических переменных при идентификации технического состояния космических аппаратов // Материалы 34-й научно-технической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии. Подготовка специалистов для инфокоммуникационной среды». – Рязань: РВВКУС им. М.В. Захарова, 2008. – 16 с.
4. *Катюха Р.В., Ратушняк Г.Я.* Принципы комбинированного подхода в задачах синтеза интеллектуальных систем управления сложными техническими системами // Радиотехника. Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010. – № 6. – С.49–62.
5. *Ефимов Е.М* Решатели интеллектуальных задач. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
6. *Бурков В.Н., Ириков В.А.* Модели и методы управления организационными системами. – М.: Наука, 1994. – 270 с.
7. *Васильев С.Н.* От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 1, 2.
8. Состояние и перспективы развития информационных технологий / К.К. Колин, И.П. Норенков, А.С. Нариньяни, В.С. Зарубин // Информационные технологии. – 1999. – № 1. – С. 44–46.
9. *Поспелов Д. А.* Логико-лингвистические модели в системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 231 с.

Р.В. Катюха;  
Г.Е. Смирнов;  
С.А. Багрецов,  
*доктор тех. наук, профессор*

## МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, РЕАЛИЗУЕМАЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ И МАТРИЦ

Предложена методика, основанная на сравнении матриц. Сущность ее заключается в том, что при использовании результатов методики многопараметрической идентификации космического аппарата (КА) на основе нечеткой логики и применении хорошо разработанного аппарата теории линейных преобразований и матриц проводится комплексная оценка текущего состояния КА путем сравнения идеального и реального состояния КА в различные моменты времени для принятия оперативных решений и прогнозирования его функционирования.

Ключевые слова: комплексная оценка, матрица, многопроцессорные вычисления, мониторинг, трансформирование, информационная оболочка.

В качестве методической основы приняты исходные результаты и идеи матричной теории систем [1]. В результате для решения задач распознавания показателей качества КА удастся привлечь хорошо разработанный аппарат теории линейных преобразований и матриц. Данный подход хорошо изложен в монографии [2], однако для решения задач комплексной оценки технического состояния космических аппаратов применяется впервые. Использование теории линейных задач и матриц при решении задач комплексной оценки технического состояния космических аппаратов позволяет:

- выполнять параллельные многопроцессорные вычисления, что влечет за собой декомпозицию интеллектуальной системы оценки на блоки;
- эффективно решать системы большой размерности, что влечет за собой обеспечение требуемой точности вычислений;
- хранить и оперативно использовать разветвленные базы знаний значительного объема, что влечет за собой необходимость оптимального управления базами знаний.

Показатели и критерии качества технического состояния сложной технической системы (СТС) можно получить следующим образом. Постулируем, что процесс мониторинга технического состояния (ТС) строится по модульному принципу, как совокупность блоков, каждый из которых предназначен для реализации определенной задачи оценки отдельного устройства в системе. При решении общих задач в рамках нескольких блоков осуществляется декомпозиция задач на подзадачи, которые решаются одновременно в мультипроцессорном режиме. Результаты параллельных вычислений объединяются методом «склейки» решений [2].

Элементарный блок интеллектуальной системы оценки (ИСО) строится на основе следующих предпосылок:

1. Исходной информационной основой блока ИСО является информационная оболочка (рис. 1) – совокупность  $\mathcal{R}$  баз  $B_i$ , которые составляют требуемые параметры качества.
2. Качество ТС определяется качеством и ценностью информации элементов  $B_i \in \mathcal{R}$ .
3. При реализации идеи информационная оболочка трансформируется (отображается), на матрицу  $T$  идеального состояния СТС, а также на матрицу реального состояния (рис. 2.).

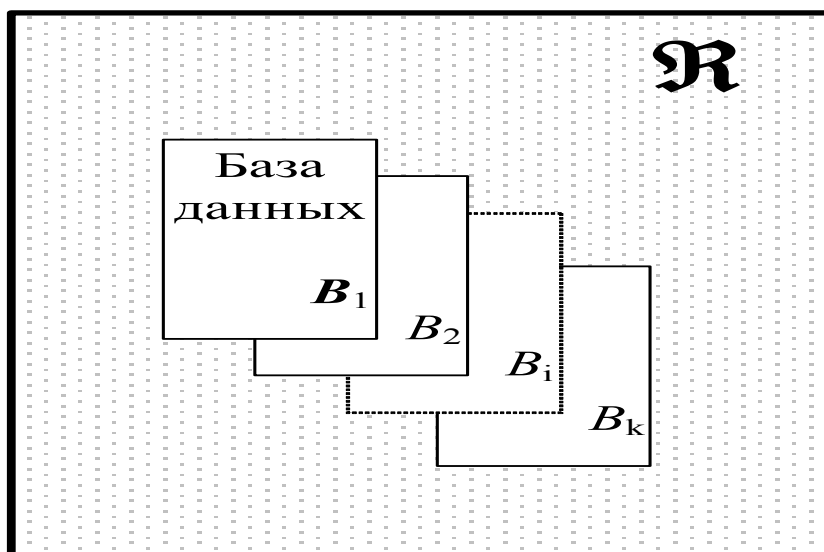


Рис. 1. Структура информационной оболочки

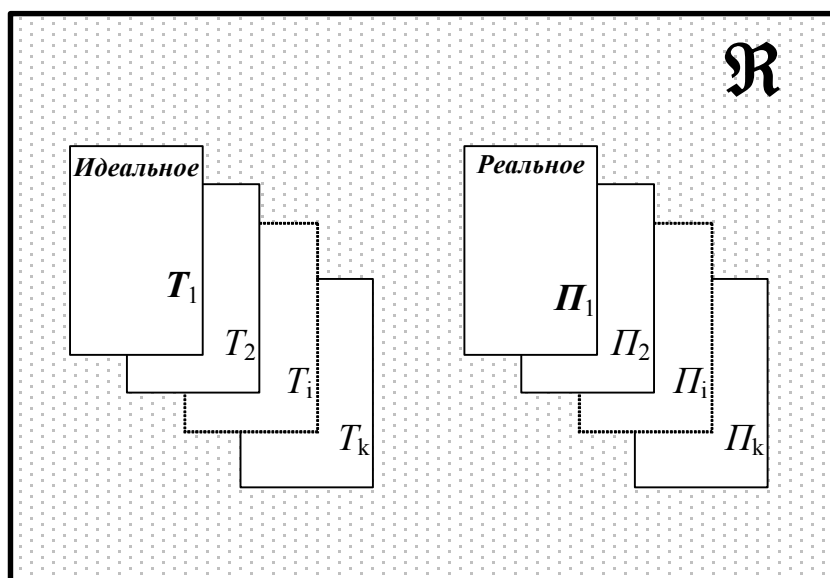


Рис. 2. Трансформирование информационной оболочки

Таким образом, при переходе к комплексной оценке следует реализовать отображение

$$\mathcal{R} \rightarrow (T, \Pi). \quad (1)$$

Если информационная оболочка  $\mathcal{R}$  в (1) может содержать как цифровую, графическую, так и текстовую информацию, то матрицы  $T=(\tau_{ij})$  и  $\Pi=(\pi_{ij})$  должны быть составлены только из безразмерных числовых показателей  $\tau_{ij}$  и  $\pi_{ij}$ , где  $i$  – номер строки;  $j$  – номер столбца матрицы, на пересечении которых находится элемент  $\tau_{ij}$  (элемент  $\pi_{ij}$ ). Такое требование к матрицам  $T=(\tau_{ij})$  и  $\Pi=(\pi_{ij})$  здесь предъявляется намеренно, с тем чтобы использовать хорошо разработанный аппарат теории матриц и матричного анализа сложных систем [1, 2].

Подчеркнем, что в зависимости от особенностей данного блока ИСО возможно различное построение матриц  $T$  и  $\Pi$  в (1).

Рассмотрим матрицу состояния некоторого устройства:

$$T = \begin{pmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \dots & \tau_{1n} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \dots & \tau_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tau_{m1} & \tau_{m2} & \dots & \tau_{mn} \end{pmatrix} = (\tau_{ij}), \quad (2)$$

где  $i$  – номер системы;

$j$  – номер устройства в системе.

Пару  $(i, j)$  номеров  $i$  и  $j$  назовем  $(i, j)$ -позицией матрицы требуемого состояния. Будем считать, что в матрице  $T$  ее элемент  $\tau_{ij}$  представляет собой оценку в баллах решения задачи по достижению требуемых значений качества сложного технического объекта (СТО). При этом может быть назначена общая шкала для исчисления значений  $\tau_{ij}$ .

Из теории систем известно, что композиция линейных преобразований описывается операцией умножения. Это означает, что отображение  $T = (\tau_{ij}) \rightarrow T_0$  может быть описано не только в общей форме, но и вполне конкретно:

$$T_0 = A_0 T. \quad (3)$$

В равенстве (3) дополнительно к  $T$  и  $T_0$  введена матрица  $A_0$ , характеризующая процесс преобразования  $T = (\tau_{ij}) \rightarrow T_0$ . При этом матрица  $A_0$  в общем случае для каждого случая специфична: она зависит от теоретической подготовки при принятии решения, скорости реакции на внешнее воздействие, скорости осознания сущности задачи, от навыков принятия решений и т. д.

Система уравнений с неизвестной матрицей  $A_0$  может быть записана в виде одного матричного уравнения [2]:

$$F_0 = A_0 G, \text{ где } F_0 = \begin{pmatrix} T_0^{(1)} \\ T_0^{(2)} \\ \dots \\ T_0^{(N)} \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} T^{(1)} \\ T^{(2)} \\ \dots \\ T^{(N)} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В уравнении (4) матрицы  $F$  и  $G$  являются блочными, так как их элементами, в свою очередь, являются матрицы. Теперь задачу можно сформулировать в точной форме: по исходным данным  $T^{(v)}$ ,  $T_0^{(v)}$ , полученным в  $N$  циклах, требуется в результате решения матричной системы уравнений (4) найти оценку для матрицы  $A_0$  расхождений реального и идеального состояния СТО.

Используя для решения такой задачи метод наименьших квадратов (МНК), получим следующие результаты. Одним из количественных показателей оценки качества технического состояния может служить функция расстояния между матрицей  $T$  и матрицей  $T_0$ :

$$\rho(T, T_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\pi_{ij} - \tau_{ij})^2}. \quad (5)$$

Уменьшение расстояния  $\rho(T, T_0)$  свидетельствует об улучшении качества СТО.

Предложенный выше показатель  $\rho(T, T_0)$  расхождения между матрицей  $T$  и матрицей  $T_0$  основан на идее оценки степени отличия в указанных матрицах.

Таким образом, одной из сильных сторон предлагаемого матричного процесса описания технического состояния космических аппаратов является возможность учета влияния различных устройств на систему в целом. На сегодняшний день, как показали результаты анализа известных исследований, не существует никакой другой математической модели, которая в такой весьма простой форме позволила бы решить данную задачу.

### Список используемых источников

1. Катюха Р.В., Ратушняк Г.Я. Принципы комбинированного подхода в задачах синтеза интеллектуальных систем управления сложными техническими системами // Радиотехника. Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010. – № 6. – С.49–62.
2. Ратушняк Г.Я., Катюха Р.В., Гнездилов И.Л. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления сложными организационно-техническими системами: монография. – М.: Спутник +, 2010. – 199 с.
3. Катюха Р.В. Использование теории нечетких множеств и лингвистических переменных при идентификации технического состояния космических аппаратов // Материалы 34-й научно-технической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии. Подготовка специалистов для инфокоммуникационной среды». – Рязань: РВВКУС им. М.В. Захарова, 2008. – 16 с.

Ю.С. Мануйлов,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Е.Н. Алёшин,  
*кандидат техн. наук*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА КОСМИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА**

Рассматривается методический аппарат, предназначенный для решения оптимизационных задач структурно-параметрического синтеза основных подсистем космических солнечных энергостанций. Представлена характеристика математического обеспечения программно-моделирующего комплекса, позволяющего исследовать взаимовлияние процессов функционирования системы позиционирования и управления угловым движением станции, солнечных батарей и активных фазированных антенных решеток. В статье обосновывается необходимость и показаны пути решения проблемы динамической и энергетической совместимости системы управления угловым движением объекта и космической солнечной энергоустановкой при формировании ее облика.

Ключевые слова: космическая солнечная энергетическая станция, система позиционирования и управления угловым движением, панель солнечных батарей, концентраторы солнечного излучения.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современные оценки целесообразности создания и использования космических солнечных энергетических станций (КСЭС), предназначенных для передачи энергии на Землю в виде СВЧ-излучения, основаны главным образом на результатах анализа и структурно-параметрического синтеза отдельных ее подсистем: солнечных батарей (СБ), генераторов СВЧ-излучения и активных фазированных антенных решеток (АФАР) [1-3]. При этом оценка эффективности КСЭС осуществляется, как правило, без учета особенностей их совместного функционирования, влияния внешних условий, а также энергетического и динамического взаимодействия с другими подсистемами, и в первую очередь с системой позиционирования и управления угловым движением (СПУУД) элементов конструкции КСЭС.

Такой подход в определенной степени справедлив при рассмотрении КСЭС с традиционными планарными СБ, выходные характеристики которых не критичны к точности ориентации панелей на Солнце. В то же время в качестве альтернативных вариантов рассматриваются СБ с концентраторами солнечного излучения (КСИ). Последние позволяют в ряде случаев снизить стоимость и повысить ресурс КСЭС, но при этом требуется существенно более высокая точность их ориентации на Солнце. Необходимость снижения потерь (энергетических, информационных в системах связи, экологических и др.) при передаче СВЧ-мощности наряду с поиском эффективных режимов передачи энергии требует принятия мер, обеспечивающих повышение точности наведения АФАР на приемник. Однако поскольку КСЭС представляет собой многосвязный объект с элементами конструкции ограниченной жесткости, то обеспечение высокоточной ориентации одного из элементов (например, АФАР) усложняет решение той же задачи для других (например, СБ с КСИ).

Указанные обстоятельства предопределяют необходимость комплексирования систем на основе решения проблемы энергетической и динамической совместимости (ПЭДС) СПУУД и элементов конструкции КСЭС (АФАР, СБ и др.).

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА КОСМИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

При формировании облика КСЭС, характеризуемого вектором параметров основных подсистем  $\alpha_i \in \{\alpha_i\}$ , основным требованием выступает необходимость обеспечения заданного уровня энергоснабжения  $P_\tau^\alpha \geq [P_\tau^\alpha]$ , определяемого среднегодовой полезной мощностью  $P_\tau^\alpha$  на интервале времени  $\tau$  ( $\tau = 1, \dots, N$  лет) активного существования объекта. Решение данной задачи в оптимизационной постановке предполагает использование показателей экономической эффективности функционирования КСЭС, в качестве одного из которых может быть использована прибыль  $C$ , исчисляемая как разность суммарного дохода от реализации энергии  $C_b^\Sigma$  потребителям в течение заданного срока  $\tau$  и затрат  $C_l^\Sigma$  жизненного цикла функционирования КСЭС:

$$C = C_b^\Sigma(P_\tau^\alpha, c_m^b, \alpha_i) - C_l^\Sigma(P_\tau^\alpha, c_m^l, \alpha_i).$$

Здесь приняты обозначения:  $c_m^b$  – прогнозируемый средний уровень стоимости энергии;  $c_m^l$  – прогнозируемый средний уровень стоимости невосполнимых экологических потерь, дополнительных организационно-технических мероприятий, направленных на их предотвращение, а также штрафных санкций, компенсирующих побочные эффекты создания и функционирования КСЭС. Введем в рассмотрение удельные стоимостные показатели затрат  $\bar{c}_i^e, i = \overline{1, k}$  жизненного цикла  $k$  основных подсистем КСЭС. Учитывая затраты, связанные с экологическими и прочими потерями, а также затраты, связанные с мероприятиями по их предотвращению или компенсации, характеризуемые удельными стоимостными показателями  $\bar{c}_j^l, j = \overline{1, l}$ , сформируем комплексный экономический показатель качества в виде:

$$F(\alpha_i) = \sum_{i=1}^k \bar{c}_i^e P_\tau^i(\alpha_i) + \sum_{j=1}^l \bar{c}_j^l P_\tau^j(\alpha_i),$$

где  $P_\tau^i, P_\tau^j (P_\tau^i \leq P_\tau^j)$  – значения выходной мощности КСЭС и уровня мощности СВЧ-излучения, обуславливающего возникновение отрицательных побочных эффектов функционирования. Поскольку удельные стоимостные показатели  $\bar{c}_i^e, i = \overline{1, k}$  и  $\bar{c}_j^l, j = \overline{1, l}$  на некотором конечном интервале жизненного цикла КСЭС являются величинами ограниченными:  $\bar{c}_i^e \leq [\bar{c}_i^e]; \bar{c}_j^l \leq [\bar{c}_j^l]$ , то оптимизационная задача структурно-параметрического синтеза КСЭС может быть сформулирована как задача математического программирования:

$$\begin{aligned} \min_{\alpha_i} F(\alpha_i) &= \min_{\alpha_i} \left[ \sum_{i=1}^k \bar{c}_i^e P_\tau^i(\alpha_i) + \sum_{j=1}^l \bar{c}_j^l P_\tau^j(\alpha_i) \right]; \\ P_\tau^\alpha(\alpha_i) &\geq [P_\tau^\alpha(\alpha_i)]; \alpha_i \in \{\alpha_i\}. \end{aligned} \quad (1)$$

## МОДЕЛИ СОВМЕСТНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

Основной идеей предлагаемого метода комплексирования является создание совокупности взаимосвязанных математических моделей процессов совместного функционирования СБ, АФАР и СПУУД, приведенных на структурно-поточной схеме этих процессов, и решение задачи формирования облика КСЭС в постановке (1) с использованием классических приемов поиска экстремума целевой функции.

Энергетическая модель функционирования солнечных батарей включает в себя математические модели процессов концентрации солнечного излучения на поверхность фотопреобразователей (ФП), преобразования его в электрическую энергию, отвода тепла от ФП, деградации характеристик КСИ и ФП под действием высокоэнергетичных заряженных частиц радиационных поясов Земли и солнечных космических лучей, а также собирания тока коммутирующими элементами СБ.

Так, для системы Кассегрена [1] концентраторов солнечного излучения справедлива аналитическая зависимость коэффициента концентрации излучения  $k_0$  от угла ориентации КСИ  $\nu_s$ :

$$k_0 = k_p (r_1^2 - r_2^2) [\exp(\alpha_v^2 \nu_s^2 / W^2)] / r_2^2,$$

где  $k_p$  – коэффициент перехвата излучения при  $\nu_s = 0$ ;

$r_1, r_2$  – радиусы первичного и вторичного зеркал КСИ;

$\alpha_v, W$  – коэффициент аппроксимации.

В расчетной схеме КСИ учитываются линейные и угловые разъюстировки зеркал, неточности ориентации КСИ на Солнце, статистические неровности отражающих поверхностей, распределение яркости по солнечному диску, а также индикатрисы рассеяния излучения отражающими поверхностями зеркал.

Относительный коэффициент энергосъема для пары установленных на объекте ПСБ планарного ( $\nu = p$ ) и концентраторного типов ( $\nu = c$ ) рассчитывается по формуле

$$K_c^\nu = \frac{1}{2} \left( \sum_{i=1}^2 E_i^\nu / E_0 \right) / T_{CT},$$

где  $E_i^\nu$  – усредненный на характерном интервале времени  $[0, T_{CT}]$  энергосъем для ячеек планарного и концентраторного типов СБ с учетом неточности их ориентации на Солнце и временной деградации удельных энергетических характеристик ПСБ указанных типов,

$E_i^\nu = \sum_{m=1}^p E_{im}^\nu$ . Эти характеристики можно определить по формуле

$$E_{im}^\nu = E_0^\nu \int_0^{T_{CT}} K_D^\nu K_\Gamma^\nu dt.$$

Причем  $K_\Gamma^p = \cos(\alpha_{im}^\Sigma(t))$ ;  $K_\Gamma^c = \exp(-\alpha_{im}^\Sigma(t)/(aW^2))$ ;  $K_\Gamma^p = K_0^\nu(1 - \Delta_\nu \tau)$ ,  $\nu = \{p, c\}$ . Здесь приняты обозначения:  $\Delta_\nu$  – параметр среднегодовой деградации;  $\tau$  – временной параметр (в годах активного функционирования);  $W$  – постоянные параметры, характеризующие оптические свойства концентраторных ячеек;  $\alpha_{im}^\Sigma(t)$  – суммарный угол отклонения ячейки от направления на Солнце,  $\alpha_{im}^\Sigma(t) = \alpha_{im}(t) + \Delta\gamma(t)$  ( $\alpha_{im}$  – угол отклонения ячейки от направления на Солнце, обусловленный упругими деформациями СБ);  $E_0^\nu$  – максимальные величины мгновенного энергосъема ( $\alpha_{im}^\Sigma(t) = 0$ ) с одной ячейки ПСБ.

В модели фотопреобразования солнечного излучения учтено влияние повышенной освещенности и температуры на процессы генерирования, диффузии, рекомбинации и туннелирования носителей заряда в структуре гетеро-ФП. Влияние космической радиации на характеристики ФП учитывается зависимостями коэффициентов деградации, времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации неосновных носителей заряда от плотности эквивалентного потока протонов  $F_{ek}$ , которая с учетом экранирующего действия конструкции фотозлектрической ячейки оценивается соотношением

$$F_{ek} = \tau_f \exp[\alpha_{p1}(1 - \alpha_{p2} \ln \delta)] (1 - \alpha_{p3} r_2/r_1),$$

где  $\tau_f$  – длительность функционирования КСЭС на орбите;

$\delta$  – толщина защитного покрытия ФП;

$\alpha_{pi}$  – коэффициенты аппроксимации;

$r_1, r_2$  – радиусы первичного и вторичного зеркал КСЭС.

Расчет средней мощности  $P_a$ , генерируемой ректенной за период  $T$ , равный постоянной времени углового движения АФАР, осуществляется путем интегрирования парциальных мощностей элементов ректенны (с учетом их схемы коммутации) в моменты времени фактического приема излучения:

$$P_a = \eta_0 \eta_t \left( \int_0^{T_p} \chi_\gamma \sum_{i=0}^n q_i(x, y) dt \right) / T_p.$$

Здесь  $\eta_0$  – коэффициент ослабления излучения средой;

$\eta_t$  – КПД преобразования СВЧ-излучения в электрическую мощность;

$n$  – количество элементов в ректенне;

$\chi_\gamma$  – функция Хевисайда, зависящая от режима излучения;

$q_i(x, y)$  – интенсивность излучения на  $i$ -ом элементе ректенны,  $q_i(x, y) = q_\gamma \cos(v_0 + \sum_{j=1}^k v_j)$ ,

где  $v_0$  – идеальный угол падения луча на ректенну с ненулевой широтой расположения;  $v_j$  – ошибки диаграммы направленности, связанные с погрешностями наведения связанной с АФАР системы координат, погрешностями фазирования и положения точки стояния КСЭС;  $q_\gamma$  – распределение интенсивности СВЧ-излучения на поверхности ректенны с учетом погрешностей наведения диаграммы направленности АФАР при гауссовом распределении плотности потока по сечению пучка,  $q_\gamma = q_0 \exp(-2r^2/r_\xi^2)$ , где  $r$  – радиус-вектор точки в картинной плоскости;  $q_0$  – значение интенсивности на оси пучка;  $r_\xi$  – нормирующий радиус пучка, который определяется дифракционной расходимостью излучения и шириной диаграммы  $\Theta_a$ ,  $r_\xi = L(\Theta_a + \chi_f \lambda / D_a)$ , где  $L$  – расстояние от АФАР до ректенны;  $\lambda$  – длина волны излучения;  $D_a$  – диаметр апертуры АФАР;  $\chi_f$  – коэффициент, характеризующий неидеальность волнового фронта.

Яркость излучения в заданном направлении  $\varphi_B$  рассчитывается при этом по формуле

$$B(\varphi_B) = \frac{\rho_\varphi E_0 \chi_\Sigma k_s}{\pi \varphi_s^2 (1 + D_s)} (1 + D_s \sqrt{1 - \varphi_B / \varphi_s^2}),$$

где  $\rho_\varphi$  – коэффициент отражения излучения в направлении  $\varphi_B$ , определяемый индикатрисой рассеяния;

$\varphi_s$  – угловой размер солнечного диска;

$\chi_\Sigma$  – функция Хевисайда, характеризующая выполнение совокупности условий видимости солнечного диска из рассматриваемой точки  $B$ ;

$k_s, D_s$  – коэффициенты аппроксимации.

Отдельный энергоизлучающий модуль КСЭС как механическая система представляется в виде несущего абсолютно твердого тела и  $N$  упругодеформированных элементов (УДЭ), отвечающих системе наименее жестких конструктивных компонентов (СБ и АФАР). С несущим телом связана система координат  $O_{xyz}$ , а его движение определяется вектором скорости

$V_0$  поступательного движения полюса  $O$  и вектором угловой скорости  $\omega$  вращения относительно некоторой инерциальной системы координат  $O_{\chi\eta\zeta}$ .

В соответствии с методом А.И. Лурье вектор  $u$  упругих смещений точек (элементарных частиц) УДЭ объекта представим в виде:

$$u(\rho) = \sum_{s=1}^{n_0} q_s \Lambda_s(\rho) + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{n_0} \sum_{v=1}^{n_0} q_s q_v \Lambda_{sv}(\rho) + \dots, \quad (2)$$

где  $\Lambda_s(\cdot)$ ,  $\Lambda_{sv}(\cdot)$ ,  $s, v = \overline{1, n_0}$  – некоторая система вектор-функций от радиус-векторов  $\rho$  положения элементарных частиц УДЭ с массами  $dm$  ( $k = \overline{1, N}$ ) в пространственной координатной базе  $\Phi = \sum_{k=0}^N \Phi_k$  упругого динамического объекта. Динамика упругого объекта описывается уравнениями Эйлера-Лагранжа:

$$\begin{aligned} J_0 \dot{\omega} + \rho_q \times V_0 + \sum_{s=1}^{n_0} \ddot{q}_s a_s &= P^\omega(M^0, \omega, V_0, q_s, \dot{q}_s); \\ m_0 V_0 + \dot{\omega} \times \rho_q + \sum_{s=1}^{n_0} q_s b_s &= P^V(R^0, \omega, V_0, q_s, \dot{q}_s); \\ \sum_{v=1}^{n_0} A_{sv} \ddot{q}_v + (b_s + \Delta b_s) V_0 + (a_s + \Delta a_s) \dot{\omega} &= P_s^q(Q_s^0, \omega, V_0, q_v, \dot{q}_v), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $(*)$  – локальная производная по времени;

$m$  – суммарная масса ДО;

$\rho$  – радиус-вектор центра масс объекта, затвердевшего в натуральном состоянии (ЗНС);

$J^0$  – тензор инерции ЗНС объекта.

Объемные, поверхностные, линейно-распределенные и/или сосредоточенные силы, действующие на ЗНС объект в соответствии с заданной схематизацией конструкции, рассчитываются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \rho_q &= m_0 \rho_0 + \sum_{s=1}^{n_0} q_s b_s; \quad J_0 = J^0 + \Delta J_q = J^0 + 2 \sum_{s=1}^{n_0} q_s \Lambda_s; \\ \Delta b_s &= \sum_{v=1}^{n_0} q_v \beta_{sv}; \quad \Delta a_s = \sum_{v=1}^{n_0} q_v \alpha_{sv}; \\ P^\omega(\cdot) &= M^0 - \sum_{s=1}^{n_0} \dot{q}_s [2\Lambda_s \omega + \omega \times a_s - \mu'_s] - \sum_{s=1}^{n_0} \dot{q}_s [\omega \times \Lambda_s \omega + b_s \times (\omega \times V_0) - \mu_s]; \\ P^V(\cdot) &= R^0 - \sum_{s=1}^{n_0} \dot{q}_s [2\omega \times b_s - u'_s] - \sum_{s=1}^{n_0} \dot{q}_s [\omega \times (\omega \times b_s) - u_s]; \\ P_s^q(\cdot) &= Q_s^0 - \sum_{v=1}^{n_0} \dot{q}_v [(b_{sv} - r'_{sv}) \dot{q}_v + (c_{sv} - r_{sv}) q_v] - (b_s + \Delta b_s)(\omega \times V_0) + \omega \left[ (\Lambda_s + \sum_{v=1}^{n_0} q_v \mathbf{B}_{sv}) \omega \right] + 2\omega \sum_{v=1}^{n_0} \Gamma_{sv} \dot{q}_v; \\ M^0 &= \int_{\Phi} \rho \times F^0 d\sigma; \quad R^0 = \int_{\Phi} F^0 d\sigma; \quad Q_s^0 = \int_{\Phi} F^0 \Lambda_s d\sigma; \quad F^0(\rho), \quad \forall \rho \in \Omega; \\ \mu_s &= \int_{\Phi} (\rho \times f_s + \Lambda_s \times F^0) d\sigma; \quad \mu'_s = \int_{\Phi} \rho \times f'_s d\sigma; \quad u_s = \int_{\Phi} f_s d\sigma; \quad u_{sv} = \int_{\Phi} f'_s d\sigma; \\ r_{sv} &= \int_{\Phi} (f_v \Lambda_s + F^0 \Lambda_{sv}) d\sigma; \quad r'_{sv} = \int_{\Phi} f'_v \Lambda_s d\sigma; \quad b_s = \int_{\Phi} \Lambda_s dm; \quad b_{sv} = \int_{\Phi} \Lambda_{sv} dm; \end{aligned}$$

$$a_s = \int \rho \times \Lambda_s dm; \quad \alpha_{sv} = \int (\Lambda_s \times \Lambda_v + \rho \times \Lambda_{sv}) dm; \quad A_{sv} = \int \Lambda_s \Lambda_v dm; \quad \Gamma_{sv} = \int \Lambda_s \times \Lambda_v dm;$$

$$\Lambda_s = \int \left[ (\rho \Lambda_s) E - \frac{1}{2} (\rho \Lambda_s^T + \Lambda_s \rho^T) \right] dm;$$

$$\mathbf{B}_s = \int \left[ (\Lambda_s \Lambda_\varphi) E - \frac{1}{2} (\Lambda_s \Lambda_v^T + \Lambda_v \Lambda_s) + (\rho \Lambda_{sv}^T) E - \frac{1}{2} (\rho \Lambda_{sv}^T + \Lambda_{sv} \rho^T) \right] dm.$$

Здесь  $c_{sv}, b_{sv}$  – квазиупругие и диссипативные коэффициенты;

$f_s, f'_s$  – координатная и скоростная коррекция в модели внешнего силового воздей-

ствия  $F$  на конструкцию объекта,  $F = F^0 + \sum_{s=1}^{n_0} (f_s q_s + f'_s \dot{q}_s)$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Дополняя систему (2) кинематическими соотношениями, исключая из рассмотрения динамику орбитального поступательного движения, выбирая начало отсчета координатного базиса  $O_{xyz}$  совпадающим с центром масс механической системы ( $\rho_0 = 0$ ), выбирая систему вектор-функций  $\Lambda_s$ , соответствующую  $[A_{sv}] = E_n$ , а также разрешая систему уравнений (3) относительно старших производных, получим:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \Phi(\varphi)\omega; \quad \dot{\omega} = U_\Gamma(\omega) + U + U_V; \\ \ddot{q} + D(J)\dot{q} + \Omega(J)q = V(J) + W(\dot{\omega}) + g, \end{cases}$$

где  $\varphi_{<3>}, \omega_{<3>}$  – векторы углов и угловой скорости в проекциях на оси ССК;

$U$  – вектор ускорения прикладываемого к объекту управления;

$U_V$  – вектор возмущающих ускорений, обусловленных упругой динамикой элементов конструкции, а также действием возмущений внешней и внутренней природы.

Желаемую динамику корпуса объекта с закрепленным на нем приводным устройством АФАР, к параметрам движения оси диаграммы направленности которой, собственно, и предъявляются высокие требования, зададим опорной траекторией, определенной на множестве решений системы дифференциальных уравнений вида:

$$\dot{\varphi}_0 = \Phi(\varphi_0)\omega_0; \quad \dot{\omega}_0 = U_\Gamma(\omega_0) + U_0,$$

где  $\varphi_{0<3>}, \omega_{0<3>}$  – векторы углов и угловых скоростей на опорной траектории;

$U_\Gamma(\omega_0), U_0$  – векторы соответственно ускорения корпуса, обусловленного гироскопическими связями, и управляющего ускорения, формируемого ИО СЦУ, реализующих невозмущенное опорное движение объекта в «затвердевшем» состоянии,  $U_\Gamma(\omega_0) = -J^{-1}(\omega_0 \times J\omega_0)$ .

Тогда условие квазизатвердевания [8] запишем в форме

$$\|U - U_0 + U_\Gamma(\omega) - U_\Gamma(\omega_0) + U_q(\ddot{q}) + U_B\| \leq \varepsilon^*,$$

где параметр  $\varepsilon^*$  характеризует близость реальной динамики объекта к заданному опорному движению. С позиций теории инвариантного синтеза централизованное управление  $U$  представляется состоящим из опорного  $U_0$  и «синтезирующего»  $\Delta U = \Delta U(\varphi, \omega, q, \dot{q}, U_0, J, U_V, g)$ .

Для снижения уровня возмущений, обусловленных динамикой УЭ, предлагается за счет профилирования прикладываемого к объекту централизованного управления и использования локальных средств активного демпфирования колебаний обеспечивать перевод упругой системы в стационарное состояние, соответствующее действующему нагружению [8]:

$$\ddot{q}_s = 0; \dot{q}_s = 0; q_s = \Omega_s^{-1}[V_s(J) + W_s(\dot{\omega}) + g_s], \quad s = \overline{1, N}.$$

При этом в идеале может быть обеспечено  $U_q(\ddot{q}_s, s = \overline{1, N}) \equiv 0$ .

«Синтезирующую» составляющую (компенсирующую добавку) предлагается формировать с использованием информации  $Y_{\omega}$  об угловом ускорении корпуса объекта. В этом случае  $\Delta U = -Y_{\omega} + U + U_{\Gamma}(\omega_0)$ . Здесь  $U$  – текущая величина прикладываемого к объекту централизованного управления. При этом компенсирующая добавка  $\Delta U$  в соответствии с принципом двухканальности Б.Н. Петрова формируется по двухконтурной схеме:  $\Delta U = \Delta U_T + \Delta U_{\Gamma}$ , где  $\Delta U_T$ ,  $\Delta U_{\Gamma}$  – составляющие, формируемые контурами точного (по отклонению) и грубого (по возмущению) управления. В качестве точного контура предлагается использовать пропорционально-дифференциальный регулятор вида  $\Delta U_T = K_1 \Delta \phi + K_2 \dot{\Delta \phi}$ , где  $\Delta \phi = \phi - \phi_0$ ;

$\dot{\Delta \phi} = \Phi(\phi)\omega - \Phi(\phi_0)\omega_0$ ;  $K_1 = \text{diag}\{K_{1i} < 0\}$ ;  $K_2 = \text{diag}\{K_{2i} < 0\}$ ,  $i = \overline{1, 3}$ , параметрически оптимизируемый, например, по квадратичному критерию качества.

Проведенный анализ вариантов решения задачи подавления колебаний УЭК объекта показал перспективность параметрического управления их жесткостными и диссипативными свойствами. С использованием формализма принципа максимума и метода припасовывания решена задача синтеза  $t$ -оптимального управления жесткостью одиночного осциллятора. В качестве исполнительного органа предлагается использовать управляемое магнитожидкостное демпфирующее устройство (МЖДУ), отличающееся многофункциональностью и малой инерционностью в работе. Суммарный приведенный коэффициент  $\alpha_{\Sigma}$  демпфирования колебаний УЭК при использовании МЖДУ складывается из составляющей  $\alpha_1$ , обусловленной собственной и привнесенной диссипацией, а также  $\alpha_2$ , обусловленной демпфирующим эффектом управления жесткостью конструкции. Для оценки потенциальных возможностей системы подобного типа могут быть использованы соотношения:

$$\alpha_1 = (b'_0 + b_1) + (-b_1 + b_2)\Delta\tau/(\Delta\nu + \Delta\tau); \quad \alpha_2 = -0,5\xi\Omega_{\min}/(\Delta\nu + \Delta\tau),$$

где  $b'_0, b_1, b_2$  – приведенные коэффициенты затухания амплитуды колебаний конструкции, обусловленные собственными, а также вносимыми управляющим устройством на максимальной и минимальной частотах диссипативными свойствами соответственно,  $b'_0 = a_0/\omega_{\max}$ ,  $b_1 = a_1/\omega_{\max}$ ,  $b_2 = a_2/\omega_{\max}$ .

В частности, для  $f_{\min} = 1$  Гц и  $f_{\max} = 1,3$  Гц ( $\chi = 0,64$ ), а также  $a_0 = 0,0016 \text{ с}^{-1}$ ,  $a_1 = 0,034 \text{ с}^{-1}$ ,  $a_2 = 0,264 \text{ с}^{-1}$  при оптимальном выборе параметра  $\theta$  удалось обеспечить  $\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\Sigma\omega_{\max}}$  порядка  $0,77 \text{ с}^{-1}$ , что соответствует возрастанию диссипации в упругой системе более чем в 2,5 раза. Данный результат подтвержден экспериментально в процессе проведения полунатурного моделирования. Окончательный выбор варианта технической реализации СУУД предполагает этап детальной проработки конструктивно-компоновочной схемы КСЭС.

Оценка эффективности предложенного подхода проводилась с использованием разработанного программно-моделирующего комплекса путем совместного математического моделирования управляемых процессов углового движения корпуса и относительной (в том числе колебательной) динамики ПСБ и АФАР КСЭС, а также процессов приема, преобразования и передачи потребителям соответствующих энергетических потоков. Основу программно-моделирующего комплекса (ПМК) составляют математические модели энергетических про-

цессов в СБ планарного и концентраторного типов, конечномерная математическая модель управляемой угловой динамики КСЭС, модель излучения и передачи СВЧ-мощности, а также совокупность алгоритмов управления угловым движением объекта и динамикой относительного движения его конструктивных компонентов. Реализация предлагаемого подхода с использованием ПМК обеспечивается за счет введения совокупности моделей взаимосвязи исследуемых процессов. Основной задачей проводимых экспериментальных исследований явилось не только выявление структурного и алгоритмического состава СПУУД, обеспечивающего конкурентоспособность ПСБ концентраторного типа перед ПСБ планарного типа. В процессе эксперимента установлено, что при сопоставимых массово-габаритных и удельных энергетических характеристиках обоих типов ПСБ имеется возможность обеспечить такое качество ориентации фотоприемников на Солнце, при котором ПСБ концентраторного типа становятся конкурентоспособными уже при сроках активного функционирования объекта от одного года и более. Это объясняется более низким коэффициентом деградации параметров концентраторов по сравнению с планарными панелями. Зависимости коэффициентов относительного энергопотребления для ПСБ концентраторного и планарного типов от срока активного функционирования объекта для различных вариантов структурного построения СУУД представлены на рис. 1, а, б.

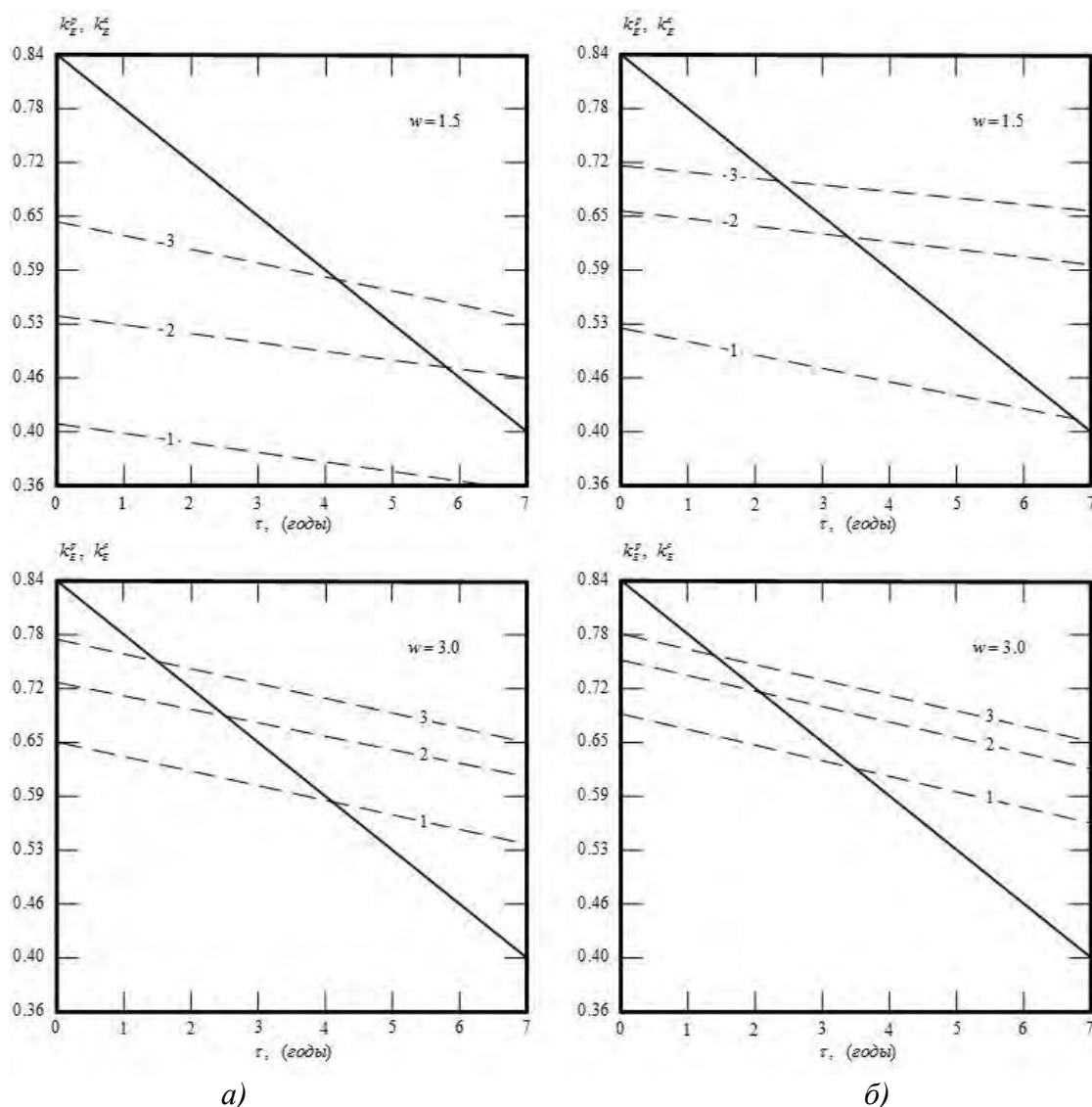


Рис. 1. Зависимости коэффициентов относительного энергопотребления для ПСБ концентраторного и планарного типов от срока активного функционирования объекта

На рис. 1 введены следующие обозначения: 1 – оптимальное управление выходом; 2 – оптимальное управление по расширенному вектору состояния; 3 – управление с компенсирующими добавками (представлены локально-активным демпфированием).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный программно-моделирующий комплекс позволяет вплотную подойти к практическому решению задачи оптимального структурно-параметрического синтеза основных подсистем космических солнечных электростанций при заданных требованиях по выходной мощности, сроку активного существования и допустимому максимально возможному экологическому ущербу от их штатной эксплуатации. Этот же подход может быть использован для оценки экономической целесообразности реализации космических программ не только солнечной энергетики, но и освещения участков земной поверхности в темное время суток.

## Список используемых источников

1. *Piland R.* The solar power satellite concept evaluation program // Proceedings of NASA Conference «Radiation energy conversion in space». – New York, 1978. – P. 3–25.
2. *Dockinson R.* SPS microwave subsystem potential impacts and benefits // Proceedings of NASA Conference «Radiation energy conversion in space». – New York, 1987. – P. 25–35.
3. *Kerwin E.M., Suddath I.H., Arndt G.P.* Antenna optimization and cost consideration for the SPS microwave system // Proceedings of IECEC. – New York, 1981. – Vol.1. – P. 272–277.
4. *Armand N.A., Lomakin A.N., Paramonov B.M.* To the solar power satellite accuracy orientation problem // Proceedings of conference devoted to development of K.E.Tsiolkovsky's ideas. – Moscow, 1982. – P. 123–132.
5. *Monzingo R.A., Miller T.N.* Introduction to adaptive arrays // New York-Chichester-R'islare. – Toronto, 1980. – 446 p.
6. *Лукинз П.* Уравнения в квазикоординатах для космических аппаратов нежесткой конструкции // Ракетная техника и космонавтика. – 1975. – Т.13, № 4. – С. 137–140.
7. *Мануйлов Ю.С.* Метод логико-аналитического синтеза в задачах оптимального и адаптивного управления. – МО СССР, 1986. – 188 с.
8. *Горелов Ю.Н., Мануйлов Ю.С., Шалымов С.В.* Методы реализации принципа квазизатвердевания при стабилизации движения упругих динамических объектов // Методы и алгоритмы исследования и разработки автоматических систем управления. – МО СССР, 1989. – С. 24–31.

Д.А. Павлов

## МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ГИБКОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ И ПОДСИСТЕМАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Изложены современные принципы планирования операций информационного обмена между элементами автоматизированной системы управления космическими аппаратами (АСУ КА), а также представлена разработанная модель планирования гибкого перераспределения операций управления в АСУ КА.

Ключевые слова: планирование, структурно-функциональный резерв, реконфигурация.

На современном этапе развития космических систем (КС) предпринимаются шаги к внедрению сетевых принципов информационного обмена с космическими аппаратами (КА) с использованием межспутниковых ретрансляционных каналов. Данная технология основана на дополнительном оснащении КА ретрансляционной аппаратурой, обеспечивающей непосредственную связь КА между собой. Таким образом, на орбите образуется сетевая структура, в рамках которой за счет переретрансляции сигналов может быть обеспечен оперативный информационный обмен с любым КА, причем даже в случае использования единственной наземной станции командно-измерительных систем (КИС) и т. д.

В рамках сетевой структуры информационного обмена между КА и наземными средствами автоматизации в настоящий момент времени принято выделять следующие типы информации: баллистико-навигационная информация (БНИ), командно-программная информация (КПИ), специальная информация (СПИ) и телеметрическая информация (ТМИ). В рассматриваемом контексте принципиальными моментами являются: различная природа информации, различные объемы и интенсивности ее получения, различные алгоритмы ее обработки, а также различные варианты маршрутизации потоков информации в соответствии с источниками ее получения (для СПИ и ТМИ первичным получателем информации является бортовой вычислительный комплекс (БВК), а для БНИ и КПИ – соответствующие наземные средства автоматизации) и пунктами ее конечной доставки.

В то же время современные БВК и вычислительные комплексы (ВК) наземных средств автоматизации позволяют производить обработку и хранение вышеперечисленных информационных потоков, что, в свою очередь, ведет к возможности проведения распределенной между узлами структуры сетевого обмена обработки и передачи данных потоков информации. Указанные обстоятельства в рамках развитой сетевой структуры информационного обмена образуют так называемый структурно-функциональный резерв [1, 2], грамотное использование которого в условиях постоянного изменения сетевой структуры информационного обмена, а также необходимости оперирования большими объемами информации при наличии жестких временных и энергетических ограничений является ключевым вопросом при решении задач планирования перераспределения операций управления и ресурсов в автоматизированных системах управления космическими аппаратами (АСУ КА).

Математическую модель, описывающую распределение операций приема, обработки, хранения и передачи информации в отдельном узле сетевой структуры информационного обмена можно записать в виде следующих дифференциальных уравнений [1]:

$$\dot{x}_{\chi ip}^+(t) = \dot{x}_{\chi ip}^-(t) + \dot{y}_{\chi ip}(t) + \dot{z}_{\chi ip}(t), i \in N_{\chi} = \{1, 2, \dots, n_{\chi}\}; \quad (1)$$

$$\dot{x}_{\chi ip}^+(t) = \psi_{\chi ip}(t) + \sum_{j=1}^{n_{\chi}} e_{\chi ji}(t) \cdot \omega_{\chi jip}(t) \cdot u_{\chi jip}(t), i \in N_{\chi}; \quad (2)$$

$$\dot{x}_{\chi ip}^-(t) = \varphi_{\chi ip}(t) \cdot \vartheta_{\chi ip}(t) + \sum_{j=1}^{n_{\chi}} e_{\chi ji}(t) \cdot \omega_{\chi jip}(t) \cdot u_{\chi jip}(t), i \in N_{\chi}. \quad (3)$$

Уравнение (1) описывает динамику изменения количества потока  $p$  типа, проходящего через узел, при этом через  $\dot{x}_{\chi ip}^+(t)$  обозначена интенсивность поступления потока  $p$  типа в узел,  $\dot{x}_{\chi ip}^-(t)$  – интенсивность сокращения потока  $p$  типа в узле,  $\dot{y}_{\chi ip}(t)$  – интенсивность накопления (передачи) потока  $p$  типа в запоминающем устройстве узла,  $\dot{z}_{\chi ip}(t)$  – интенсивность потери потока  $p$  типа в узле. В уравнениях (2), (3) под  $u_{\chi jip}(t) \in \{0,1\}$  понимается управление передачей потока  $p$  типа (при этом если  $u_{\chi jip}(t) = 1$ , то поток  $p$  типа передается из  $i$ -го узла в  $j$ -й узел, а если  $u_{\chi jip}(t) = 0$ , тогда поток не передается), а под  $\vartheta_{\chi ip}(t) \in \{0,1\}$  – управление обработкой потока  $p$  типа (если  $\vartheta_{\chi ip}(t) = 1$ , то поток  $p$  типа обрабатывается в соответствующем узле, а если  $\vartheta_{\chi ip}(t) = 0$ , то поток не обрабатывается). Введенные функции  $\psi_{\chi ip}(t), \omega_{\chi jip}(t), \varphi_{\chi ip}(t)$  являются заданными, а  $e_{\chi ji}(t)$  описывает структурную динамику информационного обмена на интервале управления  $T = (t_0, t_f]$ .

Вместе с тем постоянное изменение сетевой структуры информационного обмена, обусловленное главным образом баллистикой движения КА по орбитам и связанными с этим их входами в зоны радиовидимости и выходами из них, приводит к невозможности найти решение с помощью алгоритмов оптимального управления. Это приводит к необходимости сводить имеющуюся динамическую модель к статической с учетом специфики функционирования КС. Для этого проведем интегрирование выражений (1)–(3), описывающих динамику изменения состояния системы, на интервалах постоянства структуры  $T_k = (t_{k-1}, t_k], k = 1, \dots, L_{\chi}$ , так как на интервалах постоянства структуры функции  $e_{\chi ji}(t)$  постоянны. При этом функции управления  $u_{\chi jip}(t), \vartheta_{\chi ip}(t)$  трансформируются в соответствующие переменные

$u_{\chi jipk} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} u_{\chi jip}(t) dt, \vartheta_{\chi ipk} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \vartheta_{\chi ip}(t) dt$ , характеризующие время передачи потока  $p$  типа из  $i$ -го узла в  $j$ -й узел и время обработки потока  $p$  типа в  $i$ -м узле на интервале  $T_k = (t_{k-1}, t_k], k = 1, \dots, L_{\chi}$ .

Тогда выражения (1)–(3), характеризующие разнородные потоки, проходящие через  $i$ -й узел, можно переписать в следующем виде:

$$I_{\chi ipk} + y_{\chi ip(k-1)} + \sum_{j \in N_{\chi}^-} \omega_{\chi jipk} \cdot u_{\chi jipk} = \varphi_{\chi ipk} \cdot \vartheta_{\chi ipk} + \sum_{j \in N_{\chi}^+} \omega_{\chi jipk} \cdot u_{\chi jipk} + y_{\chi ipk} + z_{\chi ipk}. \quad (4)$$

Здесь  $I_{\chi ipk}$  – количество потока  $p$  типа, поступившее в  $i$ -й узел извне на интервале  $T_k$ ,

$$I_{\chi ipk} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \psi_{\chi ip}(t) dt;$$

- $y_{\chi ip(k-1)}$  – количество потока  $p$  типа, сохраненное в запоминающем устройстве  $i$ -го узла на интервале  $T_{k-1}$  ;
- $\omega_{\chi ipk}$  – интенсивность передачи потока  $p$  типа из  $i$ -го узла на интервале  $T_k$  ;
- $\phi_{\chi ipk}$  – интенсивность обработки потока  $p$  типа в  $i$ -й узел на интервале  $T_k$  ;
- $y_{\chi ipk}$  – количество потока  $p$  типа, сохраненное в запоминающем устройстве  $i$ -го узла на интервале  $T_k$  ;
- $z_{\chi ipk}$  – количество потока  $p$  типа, потерянное в  $i$ -м узле на интервале  $T_k$  ;
- $N_{\chi i}^-$  – множество номеров узлов, из которых в  $i$ -м узле на интервале времени  $T_k$  возможна передача потока,  $N_{\chi i}^- = \{j \in N_{\chi} | e_{\chi ji} = 1\}$  ;
- $N_{\chi i}^+$  – множество номеров узлов, в которые из  $i$ -го узла на интервале времени  $T_k$  возможна передача потока,  $N_{\chi i}^+ = \{j \in N_{\chi} | e_{\chi ji} = 1\}$  .

Физический смысл уравнения (4) состоит в следующем: весь поток  $p$  типа, поступивший в  $i$ -й узел либо извне, либо из других узлов на интервале постоянства структуры  $T_k$  , либо находящийся в запоминающем устройстве на предыдущем интервале постоянства структуры  $T_{k-1}$  , должен быть либо обработан, либо передан в другие узлы, либо потерян.

Введем следующие переменные:  $x_{\chi ijpk} = \omega_{\chi ijpk} \cdot u_{\chi ijpk}$  – количество переданного потока  $p$  типа из  $i$ -го узла в  $j$ -й узел на интервале  $T_k$  ;  $g_{\chi ipk} = \phi_{\chi ipk} \cdot \vartheta_{\chi ipk}$  – количество обработанного потока  $p$  типа в  $i$ -м узле на интервале  $T_k$  . Тогда уравнение (4) можно записать следующим образом:

$$\left( \sum_{j \in N_{\chi i}^+} x_{\chi ijpk} - \sum_{j \in N_{\chi i}^-} x_{\chi jipk} \right) + (y_{\chi ipk} - y_{\chi ip(k-1)}) + g_{\chi ipk} + z_{\chi ipk} = I_{\chi ipk} . \quad (5)$$

В уравнении (5) величины  $x_{\chi ijpk}$  ,  $y_{\chi ipk}$  ,  $y_{\chi ip(k-1)}$  ,  $g_{\chi ipk}$  ,  $z_{\chi ipk}$  являются неизвестными переменными, которые должны удовлетворять следующим ограничениям:

$$0 \leq x_{\chi ijpk} \leq \omega_{\chi ijpk} \cdot (t_k - t_{k-1}) ; 0 \leq y_{\chi ipk} \leq V_{\chi i} ; 0 \leq g_{\chi ipk} \leq \phi_{\chi ipk} \cdot (t_k - t_{k-1}) ; z_{\chi ipk} \geq 0 . \quad (6)$$

Таким образом, задача планирования структурно-функциональной реконфигурации на траектории изменения структурных состояний системы информационного обмена в статической постановке может решаться методами последовательного улучшения планов с двухсторонними ограничениями на искомые переменные и имеет следующий вид:

$$\alpha_3 \alpha_2 \sum_{p=1}^p \lambda_p \sum_{i=1}^{n_{\chi}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} g_{\chi ipk} - \alpha_3 \alpha_1 \sum_{p=1}^p \gamma_p \sum_{i=1}^{n_{\chi}} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} z_{\chi ipk} - \alpha_4 v_{\chi} \rightarrow \max ; \quad (7)$$

$$\left( \sum_{j \in N_{\chi i}^+} x_{\chi ijpk} - \sum_{j \in N_{\chi i}^-} x_{\chi jipk} \right) + (y_{\chi ipk} - y_{\chi ip(k-1)}) + g_{\chi ipk} + z_{\chi ipk} = I_{\chi ipk}, i \in N_{\chi}, p \in P, k = 1, \dots, L_{\chi} ; \quad (8)$$

$$v_{\chi} - \sum_{p=1}^p \sum_{j=1}^{n_{\chi}} r_{ijp} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} x_{\chi ijpk} - \sum_{p=1}^p \pi_{ip} \sum_{k=1}^{L_{\chi}} g_{\chi ipk} - v_{\chi i} = R_{\chi 0i}, i \in N_{\chi} ; \quad (9)$$

$$y_{\chi ipk} + \eta_{\chi ik} = V_{\chi i}, i \in N_{\chi}, p \in P, k = 1, \dots, L_{\chi} ; \quad (10)$$

$$0 \leq x_{\chi i j p k} \leq \omega_{\chi i j p k} \cdot (t_k - t_{k-1}), 0 \leq g_{\chi i p k} \leq \phi_{\chi i p k} \cdot (t_k - t_{k-1}), i \in N_\chi, p \in P, k = 1, \dots, L_\chi; \quad (11)$$

$$y_{\chi i p k} \geq 0, z_{\chi i p k} \geq 0, v_{\chi i} \geq 0, \eta_{\chi i k} \geq 0, \nu_\chi \geq 0, i \in N_\chi, p \in P, k = 1, \dots, L_\chi. \quad (12)$$

В выражении (7)  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \geq 0$  ( $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$ ) – коэффициенты важности показателей, устанавливаемые лицом, принимающим решение, в конкретной обстановке функционирования.

Полученная модель (7)–(12) позволяет решать задачи планирования гибкого перераспределения операций управления между элементами и подсистемами АСУ КА на нескольких интервалах постоянства структуры. В то же время предварительный анализ роста переменных, необходимых для решения обозначенной задачи методами последовательного улучшения планов, характеризуется порядком в несколько сотен для простых частных случаев. Этот факт определяет дальнейшее направление исследований – автоматическую генерацию исходных данных для решения задачи методами последовательного улучшения планов.

### Список используемых источников

1. Комбинированные модели управления структурной динамикой информационных систем / Б.В. Москвин, Е.П. Михайлов, А.Н. Павлов, Б.В. Соколов // Известия вузов. Приборостроение. – 2006. – № 11. – С. 7–12.
2. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.

Я.А. Скороходов;  
В.А. Каргин,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
В.В. Деев,  
*доктор техн. наук, профессор*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ CUDA ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

Представлен алгоритм оценивания спектральных свойств информационных процессов, основанный на характеристиках «превышения уровня». Разработан алгоритм распределенной обработки (формирования выборки и оценивания спектральных свойств процессов) полных потоков телеметрической информации (ТМИ) в реальном масштабе времени (РМВ) с использованием графических процессоров. Алгоритм реализован на языках программирования C++ и CUDA C. Получены результаты сравнительного анализа временных ресурсов, затраченных на обработку заданного количества измерений при последовательной и параллельной организациях вычислений, и даны рекомендации по использованию графических процессоров для обработки ТМИ в РМВ.

Ключевые слова: характеристики «превышения уровня», выбросы траекторий случайных процессов, вычисления общего назначения на графических процессорах, технология CUDA.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в рамках создания автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения на космодроме «Плесецк» (ОКР «Плесецк») разрабатывается аппаратно-программный комплекс визуализации состояния ракеты-носителя на активном участке траектории на наблюдательном пункте (АПК ВС РН АУТ НП). К данному комплексу предъявляется ряд требований, основными из которых являются высокие показатели оперативности и достоверности обработки информации в условиях существенной неопределенности телеизмерений и дефицита времени. Это связано с необходимостью обработки огромного объема телеметрической информации, требующейся для оценивания технического состояния (ТС) ракет-носителей и прогнозирования его изменения, как в целом, так и отдельных систем и агрегатов [1].

На этапе первичной обработки ТМИ в АПК ВС РН АУТ НП используются алгоритмы оперативной обработки телеметрической информации, основанные на вычислении характеристик «превышения уровня», достоинством которых является простота реализации и малые вычислительные ресурсы. Но необходимость оценивания в РМВ от 900 до 2000 телеметрируемых параметров (ТМП) требует значительных вычислительных затрат [2].

В данной работе предлагается использовать технологию массово-параллельных вычислений на графических процессорах при разработке программных средств оперативной обработки телеметрической информации. Примером данной технологии является программно-аппаратная архитектура CUDA, разработанная компанией Nvidia [3]. CUDA реализует аппаратный параллелизм, базируясь на принципах вычислений SIMD (от англ. Single Instruction Multiple Data), т. е. позволяет применять одни и те же команды параллельно к множеству данных.

## 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ NVIDIA

CUDA (Compute Unified Device Architecture, дословно – унифицированная вычислительная архитектура устройств) – архитектура (совокупность программных и аппаратных средств), позволяющая производить на GPU (graphics processing unit) вычисления общего назначения.

Технология CUDA предоставляет разработчику программного обеспечения низкоуровневый интерфейс программирования графических процессоров (ГП) Nvidia, тем самым позволяет организовывать на нем сложные параллельные вычисления, управлять его памятью.

Высокая скорость обработки информации на ГП достигается за счет одновременного (но медленного по сравнению с центральным процессором) выполнения большого количества потоков. Потоки, выполняемые на центральном процессоре (ЦП), являются очень «тяжеловесными», ими управляет операционная система, поэтому их не может быть много. При этом ГП не является альтернативой ЦП, а фактически выступает в роли мощного сопроцессора [3].

Основные особенности вычислений общего назначения на ГП заключаются в следующем [3, 4]:

1. С точки зрения топологии ГП следует рассматривать как одно-, двух- или трехмерную решетку процессорных элементов: отдельные потоки группируются в блоки потоков (thread block) одинакового размера, при этом каждый блок потоков выполняется на отдельном мультипроцессоре. В свою очередь, блоки потоков объединяются в решетки блоков потоков (grid of thread blocks).

2. На аппаратном уровне потоки блока группируются в так называемые варпы (warps) по 32 элемента (на всех текущих устройствах), внутри которых все потоки параллельно выполняют одинаковые инструкции (по принципу SIMD – Single Instruction, Multiple Data). Операции ветвления (например, в результате выполнения оператора if) могут негативно сказываться на производительности – различные ветви не могут выполняться параллельно. Обращение к памяти в CUDA осуществляется одновременно из половины варпа.

3. Одним из серьезных отличий между GPU и CPU (central processing unit) являются принципы организации памяти и работа с ней. Все типы памяти, кроме регистровой и локальной, могут быть использованы в программе как эффективно, так и неэффективно. Для эффективного обращения к памяти необходимо четко понимать особенности и области применения разных ее типов.

4. Взаимодействие потоков из разных блоков во время работы ядра затруднено: отсутствуют явные инструкции синхронизации, взаимодействие возможно через глобальную память (которая характеризуется очень высокой латентностью) и использованием атомарных функций, внутри одного блока обмен данными между потоками осуществляется через разделяемую память ГП и барьерную синхронизацию.

5. Имеет место низкая скорость обмена данными между ГП и host-процессором системы, что может приводить к значительной потере производительности.

Все рассмотренные особенности необходимо учитывать при проектировании программного обеспечения, иначе производительность при организации параллельных вычислений на GPU может в лучшем случае не увеличиваться, а в худшем – даже уменьшится.

## 2. АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ТМИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК «ПРЕВЫШЕНИЯ УРОВНЯ»

Основными свойствами ТМИ [2], затрудняющими ее использование в формальных алгоритмах автоматизированного анализа ТС, являются: наличие одиночных и группирующихся аномальных измерений, избыточность информации.

В связи с тем, что существующие методы обработки информации не удовлетворяли требованиям по качеству обработки в реальном масштабе времени (достоверности при заданном объеме выборки), были приняты новые технические решения, учитывающие «тонкие» характеристики информационных процессов (ИП). Реализованные адаптивные фильтры позволили в условиях жестких временных ограничений выполнить требования по локализации и устранению недостоверных значений контролируемых параметров, а также сократить объем телеизмерений без потери информативности [5]. Впоследствии данные технические решения стали основой алгоритмического и программного обеспечения обработки телеметрируемых параметров, поступающих с ракеты-носителя в реальном масштабе времени.

Структурно-параметрическая адаптация фильтров основывается на процедуре оперативной классификации телеметрической информации РН, учитывающей спектрально-корреляционные свойства процессов за счет введения новой метрики, использующей характеристики «превышения уровня» (рис. 1) [6].

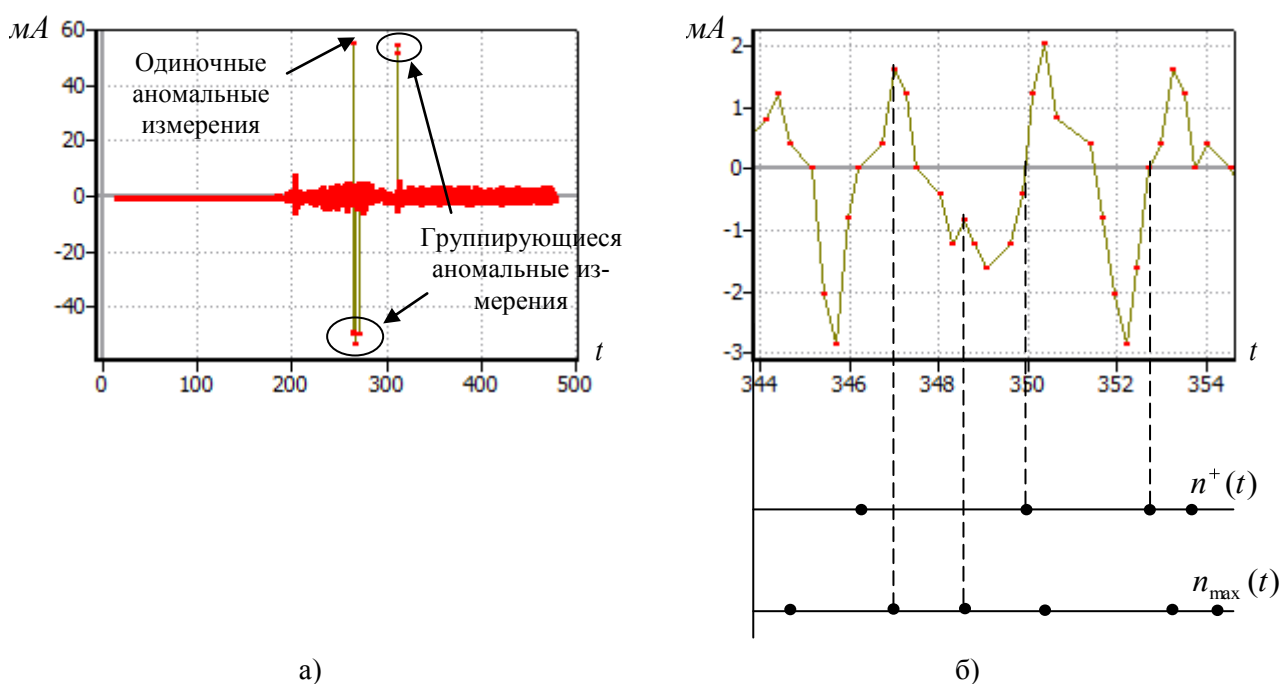


Рис. 1. Реализация информационного процесса –

тока управления рулевыми машинами блока А (ТУРМЗа) в интервале  $T \in [0-500]с$  (а); флуктуационная компонента ТУРМЗа в интервале времени  $T \in [344-354]с$  и реализации двух точечных процессов: процесса  $n^+(t)$ , порожденного положительными пересечениями нулевого уровня, и процесса локальных максимумов  $n_{\max}(t)$  (б)

В качестве метрики для классификации информационных процессов по спектральным свойствам используется точечная характеристика  $\nu^2$ , определяемая взаимной корреляционной зависимостью между значениями процесса и его второй производной в одинаковые моменты времени и принимающая значения в диапазоне от нуля (для гармонического процесса) до единицы (широкополосный шум) [7]. Ее значение зависит от коэффициента формы и относительной ширины спектра процесса и может быть оперативно оценено через характеристики «превышения уровня».

Зависимость характеристик «превышения уровня» от спектральных свойств для гауссовых процессов представлена в табл. 1 [8]. Оценивание спектральных свойств процессов позволяет синтезировать адаптивные алгоритмы сжатия и отбраковки аномальных измерений.

Таблица 1

**Характеристики «превышения уровня» для гауссовых процессов  
с типовыми корреляционными функциями**

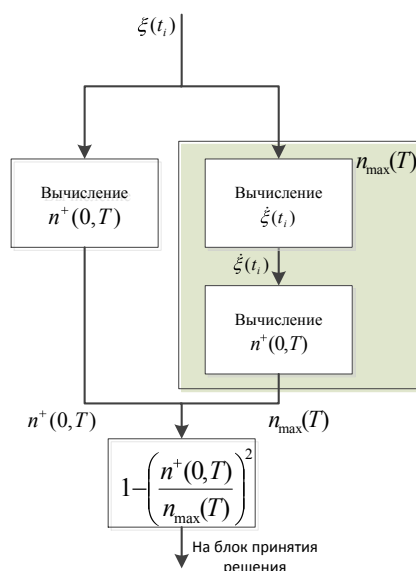
№	Тип процесса	$\rho(\tau)$	$N_1^+(0)$	$N_{1\max}$	$v^2$
1	ИП с гауссовым спектром	$e^{-\beta\tau^2}$	$\frac{\sqrt{\beta}}{\pi\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2\pi}\sqrt{6\beta}$	$\frac{2}{3}$
2	ИП с прямоугольным спектром	$\frac{\sin(\Delta\omega \cdot \tau / 2)}{\Delta\omega \cdot \tau / 2}$	$\frac{\Delta\omega}{4\sqrt{3}\pi}$	$\sqrt{\frac{3}{5}} \frac{\Delta\omega}{4\pi}$	$\frac{4}{9}$
3	ИП с лоренцевым спектром	$(1 + \beta \tau  + \frac{1}{3}(\beta\tau)^2)e^{-\beta \tau }$	$\frac{\beta}{2\sqrt{3}\pi}$	$\frac{\beta\sqrt{3}}{2\pi}$	$\frac{8}{9}$

В таблице используются следующие обозначения:  $\rho(\tau)$  – нормированная корреляционная функция процесса;  $N_1^+(0)$  – среднее число положительных пересечений траекторией информационного процесса нулевого уровня;  $N_{1\max}$  – среднее количество локальных максимумов.

Характеристика  $v^2$  оценивается с помощью выражения

$$v^2 = 1 - \left( \frac{N_1^+(0)}{N_{1\max}} \right)^2; v^2 \in [0,1]. \quad (1)$$

Алгоритм оценивания спектральных свойств процессов (путем аппроксимации корреляционной функции по характеристике  $v^2$ ) представлен на рис. 2.



*Рис. 2. Алгоритм оценивания  
спектральных свойств ТМП*

Для ТМП, у которых плотность вероятностей близка к гауссовой, количество локальных максимумов равно количеству локальных минимумов, поэтому мы можем заменить число отрицательных пересечений нуля производной процесса (которое соответствует максимумам) на количество положительных пересечений с тем, чтобы использовать одну процедуру для подсчета числа пересечений и локальных максимумов.

Достоинством подхода, основанного на использовании характеристик пересечения выборочной функцией заданного уровня, является возможность давать предварительные заключения о характере поступающей информации уже на стадии сбора данных, и особенно это важно для систем реального времени.

### 3. АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Алгоритм оценивания спектральных свойств информационных процессов реализован по схеме master-slave (рис. 3), где master-процесс выполняется на host-процессоре, а подчиненные slave-процессы оформлены в виде потоков, выполняемых на ГП. Подготовка исходных данных для обработки осуществляется на ЦП (host-процессоре): прием телеметрических данных от источника информации, выделение памяти на ГП, инициализация буфера заданного размера (соответствующего требуемому интервалу анализа), копирование массивов данных из памяти ЦП в память ГП, инициализация core-ядер (процедур ядра). Вычисление характеристики  $v^2$  производится на ГП. Поскольку выборки значений ТМП могут обрабатываться независимо, отсутствует необходимость в обмене данными между блоками и потоками внутри отдельных блоков, создаваемых на ГП, на каждом процессоре выполняется одна и та же подпрограмма, что позволяет обеспечить параллелизм на уровне данных (SIMT).

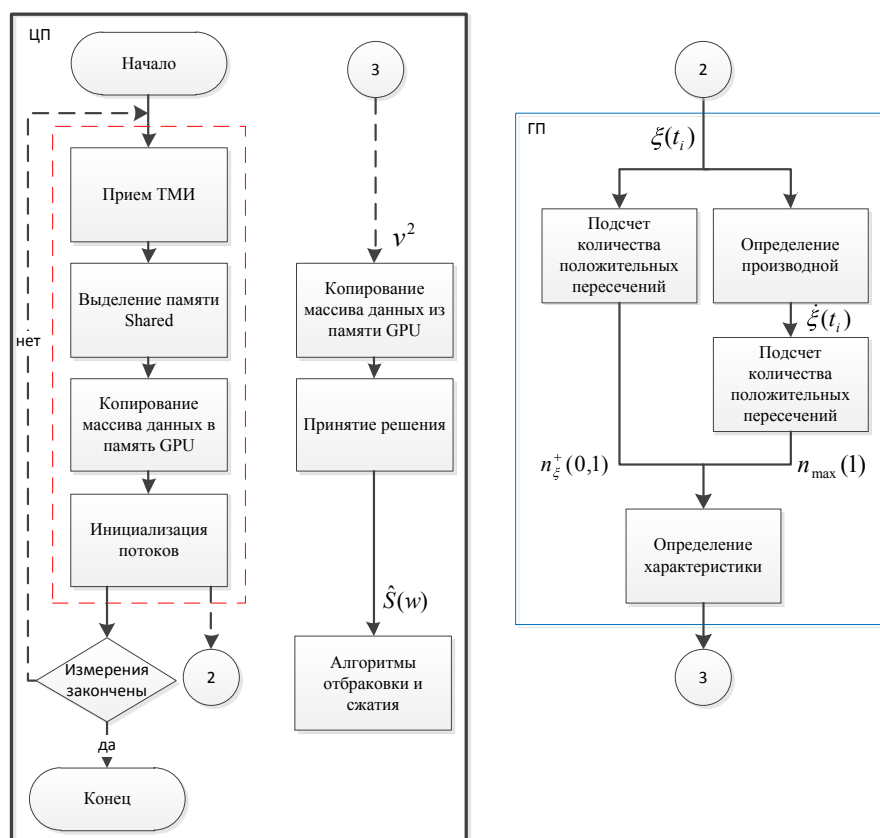


Рис. 3. Алгоритм распределенной обработки ТМИ с использованием технологии CUDA

Одним из важных условий эффективности работы программы на ГП является оптимальное использование имеющихся типов памяти: глобальной, разделяемой и памяти констант. Регистры являются быстрым типом памяти, но имеют небольшой объем, поэтому использо-

вание их для работы с массивами телеметрических данных не представляется возможным. Глобальная память, напротив, позволяет хранить большие объемы данных, но является относительно медленной. Для решения данной задачи используется разделяемая память в силу сочетания высокой скорости доступа к ней и достаточного объема (16 Кб).

Разделяемая память разбита на 16 банков, каждый из банков способен выполнить одно чтение или запись 32-битового слова. Если нити полуварпа обращаются сразу в один и тот же банк, то запросы удовлетворяются последовательно, что приводит к дополнительным временным задержкам. Такая ситуация называется конфликтом банков и характеризуется порядком конфликта – максимальным числом обращений в один банк.

В силу перечисленных особенностей организации памяти (в том числе содержащихся в п. 1) необходимо рассмотреть процедуры подсчета числа пересечений и определения производной процесса (рис. 4).

Функция подсчета числа пересечений заключается в последовательном выполнении операторов:

- `amplitude_compression_functor::operator;`
- `adjacent_difference;`
- `count_if.`

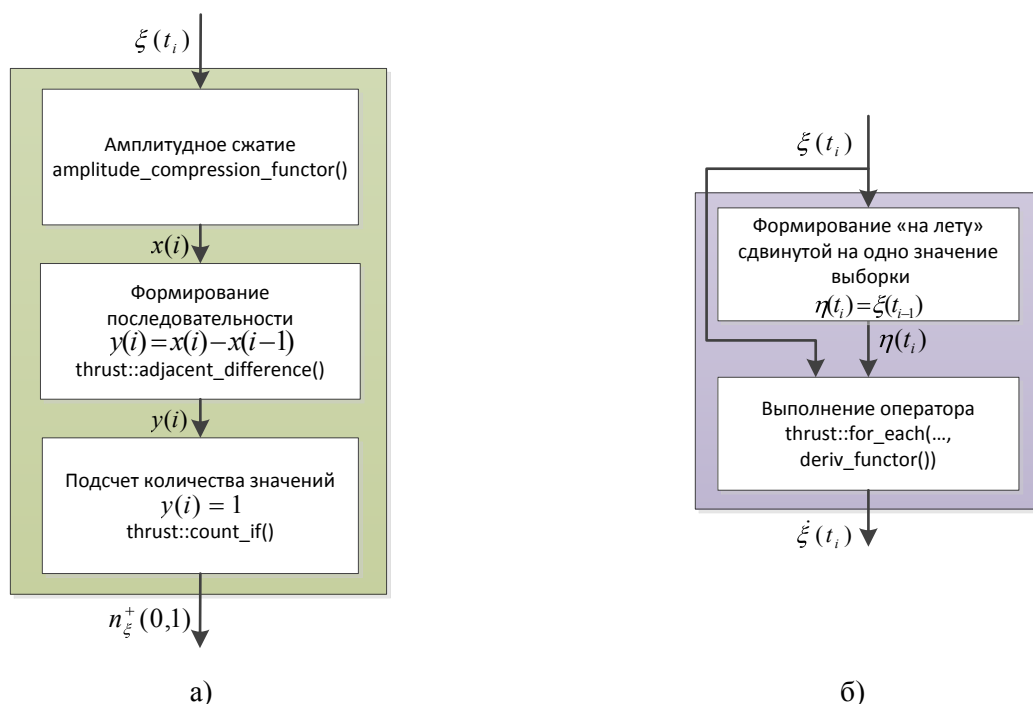


Рис. 4. Алгоритмы подсчета числа положительных пересечений заданного уровня (а); вычисления производной на ГП (б)

Первая из них определена в структуре `amplitude_compression_functor`. Остальные содержатся в библиотеки классов Thrust [9]. Данная библиотека является аналогом STL и оптимизирована для работы на ГП.

Для вычисления производной обращение к каждому элементу выборки  $\xi(t_i), i = \overline{1, m}$  необходимо выполнить два раза, что приведет к конфликтам по банкам памяти второго порядка. Чтобы избежать временных издержек на разрешение конфликтов памяти в процессе выполнения программы («на лету») формируется массив, в котором каждый элемент соответствует элементу исходного массива, взятому в предыдущий момент времени. Оператор `for_each` библиотеки Thrust принимает в качестве исходных данных массивы  $\xi(t_i), \eta(t_i), i = \overline{1, m}$ , структуру `deriv_functor`, которая инкапсулирует определение функ-

ции вычисления производной. Результатом выполнения оператора `for_each` является производная  $\dot{\xi}(t_i)$ .

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ И ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРАХ

Вычисления производились на персональном компьютере с характеристиками, представленными в табл. 2.

Таблица 2

Конфигурация аппаратных и программных средств

Характеристика	Значение
ЦП	Intel(R) Core(TM) i5 CPU M460 @ 2.53 GHz
ОЗУ	4.00 ГБ
Графический процессор	NVIDIA GeForce GT 425M
ОС	Windows 7 Ultimate x64

Для измерений временных интервалов, затраченных на вычисления, использовалась процедура `GetCycleCount()`. Фрагмент листинга программного кода для измерения времени, затраченного CPU для выполнения операций, представлен на рис. 5.

```
inline unsigned __int64 GetCycleCount(void)
{ _asm rdtsc }

unsigned __int64 t_start, t_stop;
double elapsedTime;
t_start = GetCycleCount();
... // Вычисления
t_stop = GetCycleCount() - t_start;
elapsedTime = t_stop / nCyclePerMilliSec;
```

Рис. 5. Фрагмент листинга программного кода для измерения времени на ЦП

Инструкция `rdtsc` (Read Time Stamp Counter) – ассемблерная инструкция для платформы x86, читающая счетчик TSC (Time Stamp Counter) и возвращающая в регистрах EDX:EAX 64-битное количество тактов с момента последнего сброса процессора.

Значение параметра `nCyclePerMilliSec` (количество тактов процессора в миллисекунду) определяется отношением:

$$nCyclePerMilliSec = \frac{\bar{N}_{10}}{10000}, \quad (2)$$

где  $\bar{N}_{10}$  – среднее значение количества тактов процессора за 10 секунд.

Полученные значения  $N_{10}^i (i = \overline{1,5})$  представлены в табл. 3.

Таблица 3

Количество тактов процессора за 10 секунд

Номер $i$	$N_{10}^i$
1	26664100000
2	26663800000
3	26662600000
4	26662700000
5	26663400000
Среднее $\bar{N}_{10}$	26663320000

Окончательно получаем значение переменной `nCyclePerMilliSec`, равное 2666332 тактов процессора в секунду.

Для измерения времени, затраченного графическим процессором на выполнение различных операций, воспользуемся событиями CUDA (CUDA events). При помощи функций для работы с событиями можно определить интервал времени в миллисекундах между наступлениями двух событий. На рис. 6 приводится листинг программного кода, замеряющего время выполнения ядра на GPU [3].

```
cudaEvent_t start, stop;
cudaEventCreate(&start);           // Инициализация событий
cudaEventRecord(start, 0);         // Привязываем событие к // текущему месту
// Выполнение ядра
myKernel<<<blocks, threads>>> (adev, bdev, N, cdev);
cudaEventRecord(stop, 0);
cudaEventSynchronize(stop);       // Синхронизация потоков
cudaEventElapsedTime(&gpuTime, start, stop);
```

Рис. 6. Фрагмент листинга программного кода для измерения времени на ГП

Представленные алгоритмы позволяют проводить сравнительный анализ оперативности выполнения процедур обработки информации на ЦП и ГП.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Приведенный в п. 2 алгоритм оценивания спектральных свойств ТМП посредством выбора модели корреляционной функции реализован на языке программирования C++ для последовательного выполнения на ЦП и CUDA C для ГП.

На рис. 7 представлен пример последовательного кода на языке C++.

```
// Количество пересечений заданного уровня
#define sgn(a) (a > 0) ? 1 : 0
...
for (int32_t i = 1; i < size; ++i) {
    if (sgn(y[i] - h) - sgn(y[i - 1] - h) > 0) {
        n++;
    }
}

// Производная
for (int32_t i = 1; i < size; i++) {
    d[i] = (y[i] - y[i - 1]) / x[i] - x[i - 1]);
}
// Процедура computeMetric()
...
v2 = 1 - pow(n1_0 / n1_max, 2.0);
```

Рис. 7. Фрагмент исходного кода на языке программирования C++ для вычисления характеристики  $v^2$

Результаты расчета времени, необходимого для произведения вычислительных операций для различного количества значений ТМП, представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Значения интервалов времени, затраченного CPU на выполнение процедуры  
оценивания характеристики  $\nu^2$**

№ п/п	Объем выборки			
	10000	50000	100000	1000000
1	2,3122	8,9876	16,6272	187,1920
2	1,7822	8,8270	16,3821	181,6910
3	2,0051	8,6135	17,5130	187,0010
4	1,8085	8,1900	17,0766	158,3150
5	1,7395	8,9876	17,1805	174,5170
Среднее	1,9296	8,5602	16,9559	178,7111

Вычисления на GPU выполнялись с использованием библиотеки Thrust. Листинг программы представлен на рис. 8.

Следует отметить, что объем кода значительно увеличился (несмотря на использование библиотеки Thrust).

Показатели времени, затраченного GPU на выполнение процедуры оценивания характеристики  $\nu^2$ , представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Значения интервалов времени, затраченного GPU на выполнение процедуры  
оценивания характеристики  $\nu^2$**

№ п/п	Объем выборки			
	10000	50000	100000	1000000
1	4,9917	6,0773	10,8143	17,8797
2	5,9094	5,5639	10,4226	17,8257
3	5,9798	5,1528	11,4397	19,9184
4	5,0438	6,7229	10,7804	19,1412
5	6,8345	6,0862	11,5959	19,6081
Среднее	5,7519	5,9206	11,0106	18,8747

Графики изменения времени выполнения процедуры оценивания характеристики  $\nu^2$  от объема телеизмерений представлены на рис. 9.

На рис. 10 изображен график повышения производительности вычислений на GPU  $k = \frac{t_{CPU}}{t_{GPU}}$ , где  $t_{CPU}, t_{GPU}$  – времена выполнения процедуры при последовательном коде на CPU и при организации массивно-параллельных вычислений на GPU соответственно.

При количестве измерений менее  $\approx 30000$  вычисления на CPU выполняются быстрее. Это связано с тем, что тактовая частота центрального процессора значительно выше чем графического, и увеличения производительности не происходит за счет распараллеливания. «Узким» местом при производстве вычислений на ГП являются относительно большие временные затраты на копирование массивов данных из памяти ЦП в память ГП и обратно. Однако с увеличением суммарного количества значений обрабатываемых параметров наблюдается рост отношения времени выполнения операций на CPU ко времени при организации вычислений на GPU.

```

struct amplitude_compression_functor
{
    __host__ __device__
    char operator() ( float2 a )
    {
        return (a.y > 0 ? 1 : 0);
    }
};

struct is_equal
{
    char value_;

    is_equal(char v)    { value_ = v; }

    __host__ __device__
    bool operator() ( char a ) { return a == value_; }
};

template <Tuple t> struct deriv_functor
{
    __host__ __device__
    void operator()(Tuple t) {
        const float2 el1 = thrust::get<0>(t);
        const float2 el2 = thrust::get<1>(t);
        float el3;
        el3.y = (el1.y - el2.y) / (el1.x - el2.x);
        el3.x = el1.x;
        thrust::get<2>(t) = el3;
    }
};

// Процедура computeMetric_fast
...
thrust::transform(x_series.begin(), x_series.end(), clip_series.begin(),
    amplitude_compression_functor() );
thrust::adjacent_difference(clip_series.begin(), clip_series.end(), cros_series.begin());
n1_0 = thrust::count_if(cros_series.begin(), cros_series.end(), is_equal(1));
...
thrust::device_vector<size_t> idx_prev_series(N);
thrust::counting_iterator<size_t> iter(0);
thrust::copy(iter, iter + N - 1 , idx_prev_series.begin() + 1);
idx_prev_series[0] = 0; // idx_prev_series = { 0 , 0 , 1 , 2 , 3 , ... , N-1 }
thrust::for_each(
    thrust::make_zip_iterator(
        thrust::make_tuple(x_series.begin() + 1,
            thrust::make_permutation_iterator(x_series.begin(),
                idx_prev_series.begin()), dxdt_series.begin() ) ),
    thrust::make_zip_iterator(
        thrust::make_tuple(x_series.end(),
            thrust::make_permutation_iterator(x_series.begin(),
                idx_prev_series.end()), dxdt_series.end() - 1 ) ),
    deriv_functor()
);

```

Рис. 8. Фрагмент исходного кода на языке программирования CUDA C для вычисления характеристики  $v^2$

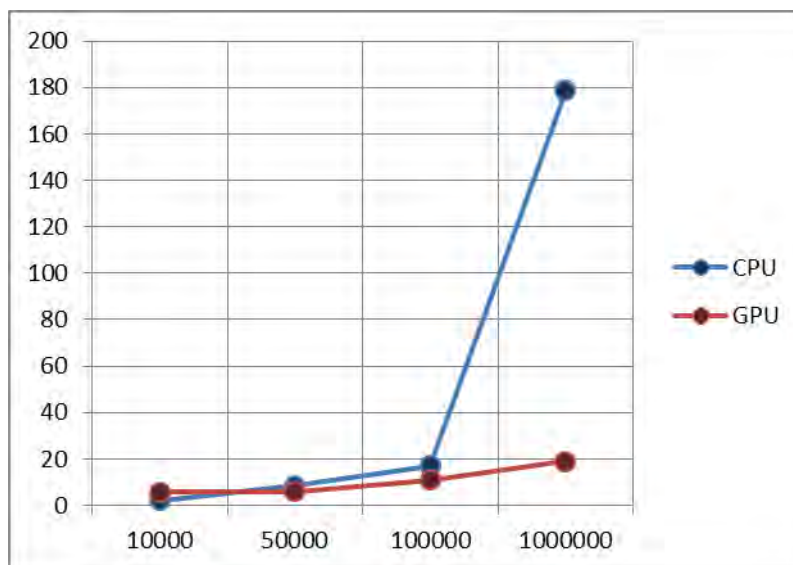


Рис. 9. Графики зависимости времени выполнения функции оценивания характеристики  $v^2$  на CPU и GPU от количества измерений

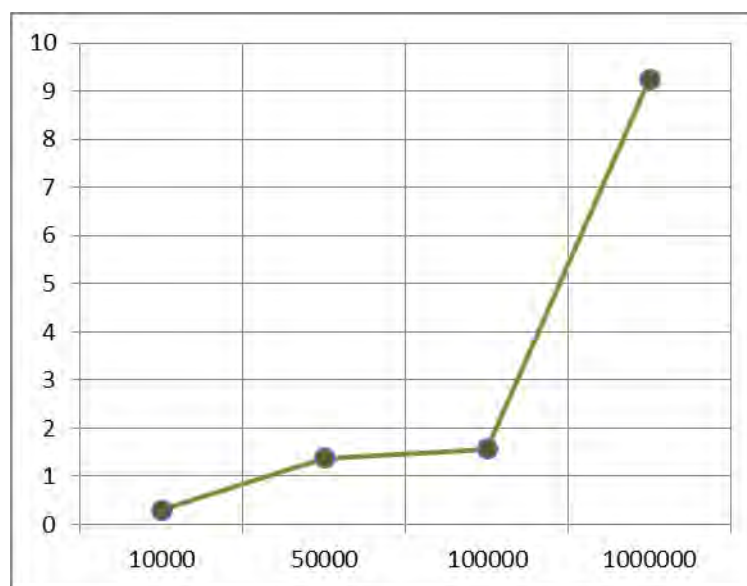


Рис. 10. Повышение производительности вычислений на GPU

Следует отметить, что использование глобальной памяти при организации вычислений не приводит к желаемому результату.

Анализ графика, изображенного на рис. 10, позволяет сделать вывод: применение технологии CUDA при разработке программных комплексов обработки и анализа ТМИ РН позволит повысить оперативность обработки информации и достоверность принимаемых решений о ТС объекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены вопросы применения технологии CUDA при проектировании аппаратно-программных средств оперативной обработки ТМИ.

Перечислены основные особенности организации вычислительного процесса на ГП, представлен алгоритм оценивания спектральных свойств информационных процессов по характеристикам «превышения уровня».

Разработан алгоритм распределенной обработки ТМИ (формирования выборки и вычисления характеристики  $\nu^2$ ) с использованием графических процессоров Nvidia.

Алгоритм оценивания структурной метрики  $\nu^2$  реализован на языках программирования C++ для последовательных вычислений на ЦП и CUDA C при организации массового параллелизма на ГП. Представлены фрагменты программного кода для измерения интервалов времени, затраченных на выполнение вычислительных операций как ЦП, так и ГП.

Было отмечено, что при вычислениях на ГП значительная часть времени расходуется на операции копирования массивов данных из памяти ЦП в память ГП. Поэтому использование глобальной памяти ГП не увеличивает скорость вычислений. В случае разделяемой памяти прирост производительности при указанной конфигурации аппаратно-программных средств начинается от 30000 измерений и возрастает увеличением с объема выборки (при 1000000 значений достигает 10 раз).

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что применение рассмотренной технологии в программных комплексах оперативной обработки ТМИ открывает широкие возможности для дальнейшего более детального анализа ТС. Следует также отметить, что требуется адаптация алгоритмов к их вариантам для параллельной обработки. Тем не менее те преимущества, которые открывает технология CUDA, несравнимы с затратами на их реализацию.

#### Список используемых источников

1. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – С. 51–53.
2. Модель измерительной информации в системах мониторинга космических средств / В.А. Каргин, Д.А. Николаев, А.Ю. Россиев, Д.Н. Бородин // Информационно-управляющие системы. – 2012. – №1. – С. 39–43.
3. *Боресков А.В., Харламов А.А.* Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 232 с.
4. *Сандерс Д., Кэндрот Э.* Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессов / пер. с англ. А.А. Слинкина; научный редактор А.В. Боресков – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.
5. *Николаев Д.А.* Разработка средств повышения достоверности и уменьшения избыточности измерительной информации // Научная сессия ГУАП: в 4 ч. – СПб.: СПбГУАП. – СПб, 2009. – Ч. 4: Технические науки.
6. *В.И. Тихонов, В.И. Хименко.* Проблема пересечений уровней случайными процессами. Радиофизические приложения // Радиотехника и электроника. – 1998. – №5. – С. 501–523.
7. *Тихонов В.И., Хименко В.И.* Выбросы траекторий случайных процессов. – М.: Наука, 1987. – С. 150, 175–176
8. *Каргин В.А.* Оперативное необратимое сжатие телеметрической информации // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 6(29). – С. 58–68.
9. NVIDIA. Developer zone. URL: <https://developer.nvidia.com/Thrust>.

Д.С. Старчуков,  
*кандидат техн. наук;*  
П.А. Козин,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
А.А. Смирнов,  
*кандидат техн. наук, доцент*

## **КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОРИСТОСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ С ЗОЛЬСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ**

Статья посвящена вопросам количественного анализа пористости высокопрочных тяжелых бетонов, который позволяет уточнить зависимость между свойствами и структурой отдельных фаз и их взаимным расположением в объеме материала. В статье изложены современные методы количественного анализа пористости высокопрочных тяжелых бетонов, а также метод компьютерного анализа пористости.

Ключевые слова: количественный анализ пористости, высокопрочные бетоны, зольсодержащие добавки.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Свойства бетона зависят от многих факторов [1], основными из которых являются свойства и структура отдельных фаз и их взаимное расположение в объеме. Распределение фаз в пространстве, или микроструктура бетонного изделия, зависит от использованных методов производства, вида сырья, кинетики фазовых превращений [2]. Количественный анализ пористости бетонных образцов позволяет уточнить зависимость между свойствами и структурой отдельных фаз и их взаимным расположением в объеме материала. Кроме того, количественный анализ пористости бетона позволяет делать выводы о его прочности, ударной вязкости и др. Поэтому актуальность проблемы количественного анализа пористости высокопрочных бетонов практически не вызывает сомнений у исследователей.

### **КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОРИСТОСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ**

При изучении микроструктуры бетона необходимо определить следующие характеристики:

- число и природу присутствующих фаз, включая пористость;
- относительное количество каждой фазы и их количественные характеристики, такие как: размер, форма и преимущественная ориентация зерен отдельных фаз.

Тонкие детали внутреннего строения кристаллов могут быть установлены при увеличении в 10–20 тыс. раз, что возможно лишь при использовании электронных туннельных микроскопов. Сверхтонкая структура на молекулярном и атомном уровне (типы химической связи, координации, дефекты решеток и т. п.) определяется методами рентгенометрии, ИК-спектроскопии, ядерного магнитного резонанса (ЯМР), электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и другими, не относится к объектам прямого наблюдения.

Из различных показателей структуры высокопрочных бетонов преобладающее значение имеют показатели пористости. Они дают представление о многих свойствах образцов и влиянии технологических факторов на образование самой структуры. Анализ структуры пор дает возможность оценить многие характеристики, такие как:

- уровень механических напряжений;
- деформативность;
- демпфируемость (ударная вязкость);
- энергопоглощение и другие характеристики состояния твердого тела.

Влияние пористости на механические свойства, например на растяжение при изгибе, описывается во многих источниках [5]. Для изделий с пористостью 10–20 % при ее увеличении на 10 % прочность снижается на 50 %. В теле материала поры являются источником механических напряжений. В работе [2] отмечается, что для пор различной формы уровень напряжений различен и поэтому концентрация напряжений варьируется от 2 до 20 раз, соответственно формам пор. Круглая пора увеличивает концентрацию напряжений в 2 раза, растянутая плоская микропора – в 5–10 раз и сочетание из двух круглых пор и капилляра – в 20 раз [5].

Поры размером несколько микрометров могут останавливать распространение хрупкой трещины и, следовательно, увеличивать прочность и ударную вязкость материала. Поэтому необходимо определять не только общее значение пористости, но и количественные показатели формы и размеров пор. Поры классифицируют по различным признакам, и они могут занимать от 0 до 90 % объема материала.

Общая пористость материала состоит из открытой и закрытой пористости. Если материал состоит из двух или более фаз (компонентов), то даже в отсутствие химического взаимодействия определить его теоретическую плотность очень сложно. Кажущуюся плотность, меньшую чем теоретическая, также определить непросто.

По определению из общего курса физики плотность есть отношение массы тела к его объему. Определить массу образца несложно, а вот точно определить объем можно только методом гидростатического взвешивания. В этом случае открытые поры, заполняемые водой при насыщении образца, выпадают из расчета и в определении кажущейся плотности учитываются только закрытые поры.

Закрытую пористость вычисляют по формуле

$$P_{\text{ЗАК}} = P_{\text{ОБЩ}} - P_{\text{ОТКР}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ЗАК}}$  – закрытая пористость;

$P_{\text{ОБЩ}}$  – общая пористость;

$P_{\text{ОТКР}}$  – открытая или кажущаяся пористость, определяемая насыщением образца водой (кипячением или под вакуумом) и другими методами.

Невысокая точность вышеназванного метода связана с трудностью удаления адсорбированного воздуха и влаги со стенок пор. Из физической химии известно, что толщина слоя адсорбированной влаги составляет 5–10 см, при насыщении вода не заполняет всего объема пор.

## МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ПОРИСТОСТИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ

Развитие ЭВМ привело к появлению нового направления в анализе и оценке структур – появились системы анализа изображений с цифровым режимом обработки. Система анализа изображений (САИ) переводит видеоизображение плоского шлифа в изображение на дисплее компьютера, оцифровывая аналоговый сигнал видеокамеры. В качестве главного параметра используется яркость отдельной точки увеличенного изображения шлифа не зависимо от цветового тона. Это довело цветоразделение более чем до 256 градаций серого цвета, т. е. дало возможность современным САИ полностью решить «проблему серого тона». Появление более скоростных и совершенных видеокамер и электронных плат захвата видеоизображения резко увеличило производительность и функциональные возможности таких установок [2].

С помощью программного обеспечения изученное видеокамерой изображение оцифровывается и выводится на дисплей ЭВМ, после этого оно обрабатывается и преобразуется в

виде графиков и таблиц на дисплее ЭВМ, результаты расчета можно распечатать на принтере, т. е. получить бинарное (черно-белое) изображение микроструктуры. Обычная схема САИ представлена на рис. 1 [2].

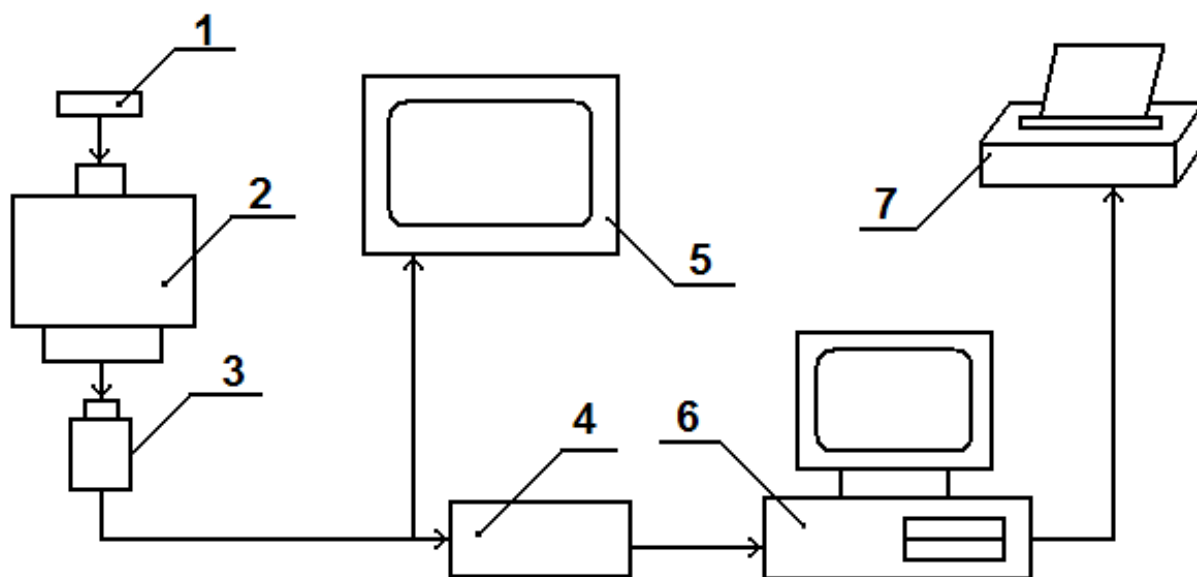


Рис.1. Принципиальная схема САИ:

1 – образец; 2 – микроскоп; 3 – видеокамера; 4 – плаха захвата для оцифровки изображения; 5 – контрольный ч/б монитор; 6 – компьютер; 7 – принтер

Во многих странах выпускают высококачественные САИ, позволяющие обрабатывать видеоизображения, полученные с биологических, металлографических, электронных растровых микроскопов, в режиме высокого разрешения. В качестве источника видеоизображения могут использоваться ранее полученные фотографии микроструктур.

В нашей стране в конце 1980-х на базе научно-исследовательской лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института фарфора (ВНИИФ, Санкт-Петербург) под руководством В.Г. Пантелеева было создано предприятие, успешно решающее проблему создания отечественной установки САИ под названием «ВидеоТест» [2].

Влияние размера элементов структуры (пор) на погрешность при определении периметра и площади в программе «ВидеоТест 2.10» представлены на рис. 2.

На основании измерения яркости, площади и периметра элемента, имеющего замкнутый контур, «ВидеоТест» позволяет проводить морфологический, стереологический и статистический анализ.

## МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РАЗРАБОТАННОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ЗОЛЬСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК

Микроскопическое исследование произведено при помощи микроскопа МИМ-10 при 10-кратном увеличении. Результаты исследования структуры представлены на рис. 3.

По данным микроскопических исследований общая пористость активированного образца уменьшается на 58 %, при этом размер всех пор разработанного высокопрочного бетона уменьшается и преобладают преимущественно поры размером 0,03 мм, что подтверждает формирование более плотной структуры активированного камня (рис. 3).

## Ошибки измерений

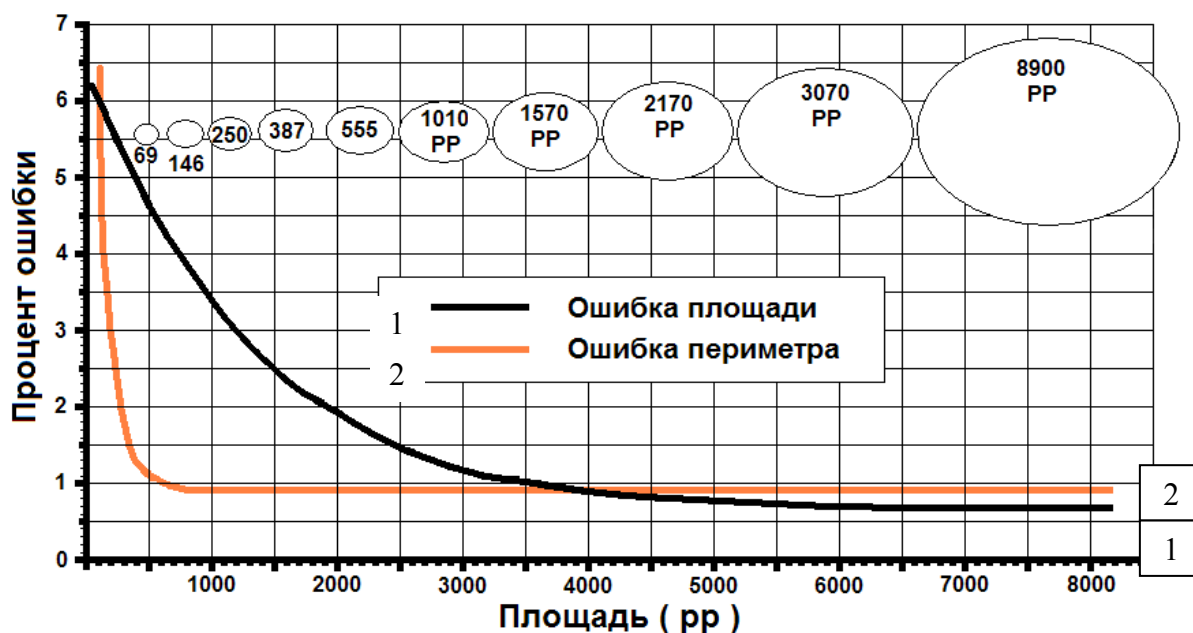
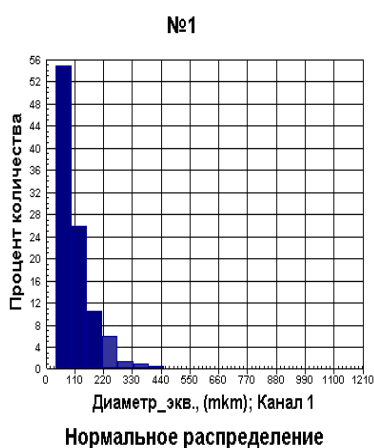
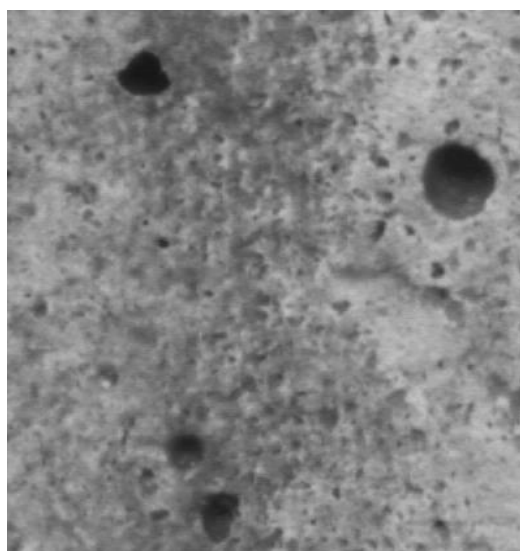


Рис. 2. Влияние размера элементов структуры (пор) на погрешность при определении периметра и площади

1)

### Количественные характеристики пористости образца № 1



Среднее	114.2
Абс. погрешность	5.823
СКО	77.47
Козфф. вариации, %	67.85
Количество классов	18
Шаг	58.95
Минимум	39.54
Максимум	1101
Процент площади	29.58
Количество	680

Общая пористость образца составляет

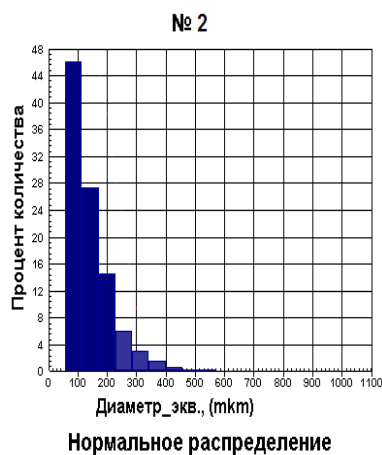
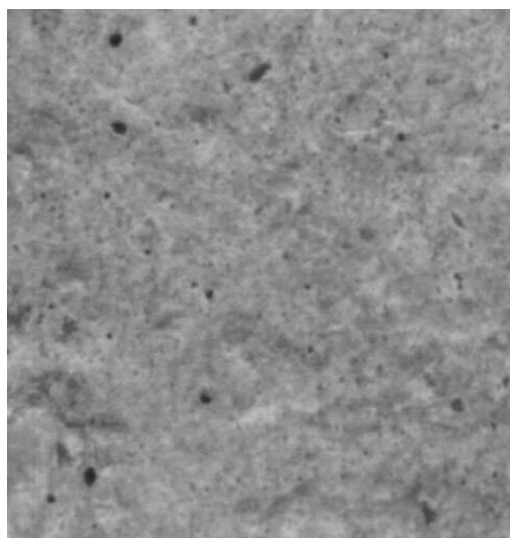
М 10:1

29,58 %

Рис. 3. Фотографии фрагментов поровой структуры высокопрочного бетона, распределение пор по размерам, мм:

1 — гостовский бетон, класса В40; 2 — разработанный бетон класса В60 (начало)

2)

Количественные характеристики  
пористости образца № 2

Среднее	147.6
Абс. погрешность	4.894
СКО	85.22
Коефф. вариации, %	57.74
Количество классов	18
Шаг	56.95
Минимум	58.2
Максимум	1083
Процент площади	17.04
Количество	1165

М 10:1

Общая пористость образца составляет

17,04 %

Рис. 3. Фотографии фрагментов поровой структуры высокопрочного бетона, распределение пор по размерам, мм:

1 – гостовский бетон, класса В40; 2 – разработанный бетон класса В60 (окончание)

Полученные данные подтверждают высказанное предположение о том, что в присутствии разработанной комплексной зольсодержащей добавки должна формироваться более плотная структура образца, как за счет повышенного количества образующихся трудно растворимых гидратных новообразований, так и за счет введения в коллоидную систему трудно растворимых структурированных дисперсий, входящих в состав добавки, которые способствуют блокированию пор соответствующего размера.

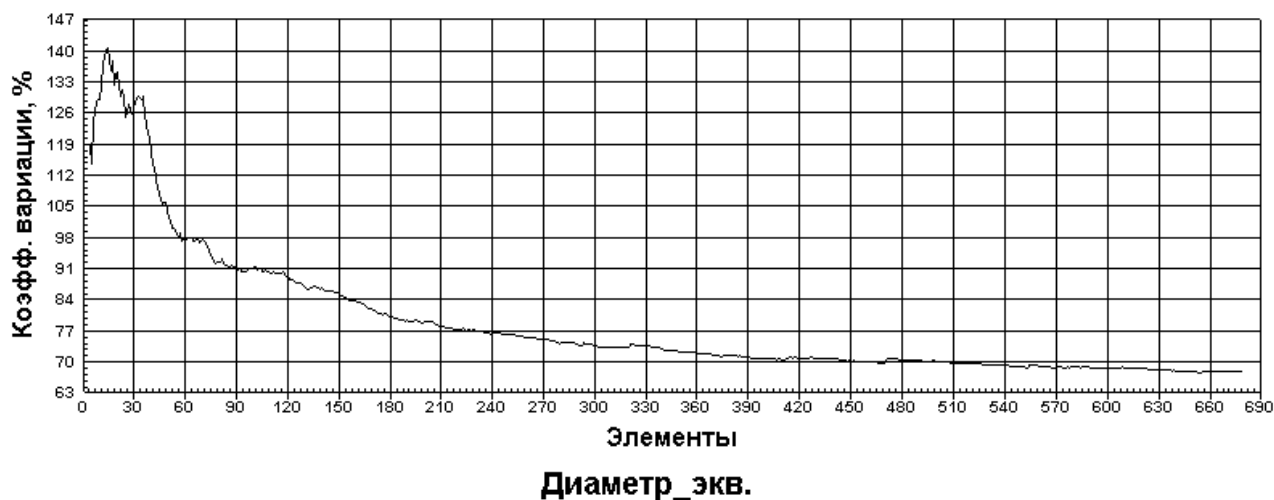
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРА ФОРМЫ ПОР

Для образца 1 (см. рис. 3) фактор формы круга превышает значение 0,8, следовательно, в качестве определяющего размера выбираем эквивалентный диаметр.

Для оценки достоверности выборки используется фактор стабилизации коэффициента вариации. Определение количественных характеристик пористости производилось по двум кадрам, выбранным произвольно. Представительность выборки при этом достигается уже при первом кадре (рис. 4). Общая пористость образцов при этом составляет 29,58 %.

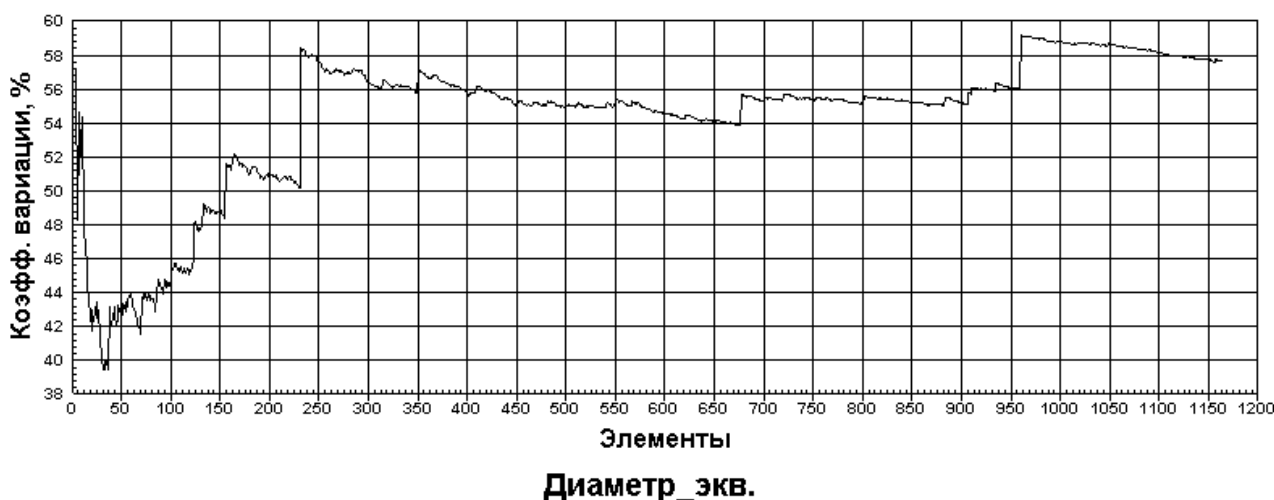
Для образца 2 (см. рис. 3) фактор формы круга также превышает значение 0,8, следовательно, в качестве определяющего размера выбираем эквивалентный диаметр.

Для оценки достоверности выборки используется фактор стабилизации коэффициента вариации. Определение количественных характеристик пористости производилось по двум кадрам,



**Количество = 680, Коэфф. вариации, %, = 67.85**

*Рис. 4. Количественные характеристики пористости состава 1*



**Количество = 1165, Коэфф. вариации, %, = 57.74**

*Рис. 5. Количественные характеристики пористости состава 2*

выбранным из двух образцов. Представительность выборки при этом также достигается уже при первом кадре (рис. 5). Общая пористость образцов при этом составляет 17,04 %.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Повышение показателей качества разработанного высокопрочного бетона подтверждено данными комплексных физико-химических методов исследования.

Для выяснения эффекта повышения прочности разработанного высокопрочного бетона проведен комплекс физико-химических исследований при помощи *калориметрического, рентгенофазового, дифференциально-термического и микроскопического методов анализа.*

Полученные данные физико-химических методов исследования подтверждают предположение о том, что в присутствии разработанной комплексной зольсодержащей добавки должна формироваться более прочная и более плотная структура образца за счет образования по-

вышенного количества гидратных новообразований и за счет блокирования пор соответствующего размера твердыми дисперсиями добавки.

Физико-механические испытания проводились по стандартным методикам и в аккредитованном научно-испытательном центре «Сократ» ПГУПС. Для каждого вида испытаний изготавливались образцы в соответствии с требованиями ГОСТ. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты оценки физико-механических характеристик разработанного высокопрочного бетона (на основе классического бетона В40) при его применении в специальных сооружениях**

Наименование показателя	Значение
Прочность при сжатии	$R_{сж} = 86,0$ МПа, прирост прочности 56 %
Прочность при изгибе	$R_{изг} = 13,60$ МПа, прирост прочности 106 %
Водопоглощение	$\rho = 1,9$ %, уменьшение на 60 %
Общая пористость	$P_{общ} = 17,04$ %, уменьшение на 42 %
Водонепроницаемость	$W = 16$ атм., повышение на 3 ступени
Морозостойкость	$F = 600$ циклов, повышение в 2 раза
Усадка	$\ell = 0,3$ мм/м, уменьшение на 82%
Ударная прочность	$R_{удар} = 0,94$ МПа, повышение на 88 %
Истираемость	$I = 0,55$ г/см <sup>2</sup> , понижение на 38 %
Твердость	НМ = 5,5 единиц по шкале Мооса, повышение на единицу

Из таблицы видно, что все показатели качества разработанного высокопрочного бетона превышают соответствующие значения применяемых бетонов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Все показатели качества разработанного высокопрочного бетона превышают соответствующие значения применяемых бетонов (см. табл. 1). Установлено, что разработанный высокопрочный бетон характеризуется повышенной плотностью (водопоглощение не превышает  $\rho = 1,9$  % и уменьшается на 60 %; а также общая пористость уменьшается на 42 % до значения  $P_{общ}=17,04$  %), следствием чего является повышение водонепроницаемости на 3 ступени ( $W = 16$  атм) и морозостойкости в 2 раза ( $F = 600$  циклов).

2. По данным микроскопических исследований общая пористость активированного образца уменьшается на 42 %, при этом размер всех пор разработанного высокопрочного бетона уменьшается и преобладают преимущественно поры размером 0,03 мм, что подтверждает формирование более плотной структуры активированного камня (см. рис. 3).

3. Поры размером несколько микрометров могут останавливать распространение хрупкой трещины и, следовательно, увеличивать прочность и ударную вязкость материала. Поэтому при подборе состава высокопрочного бетона с зольсодержащими добавками необходимо

определять не только общее значение пористости, но и количественные показатели формы и размеров пор.

4. Комбинацией различных способов определения пористости можно получить лишь приблизительные данные по величине различного вида пор, газопроницаемости, распределению пор по размерам. Эти методы не позволяют определить форму и локализацию пор, при этом из анализа практически выпадают закрытые поры.

5. Намного эффективнее оказалось использование сканирования микроструктуры световым или электронным лучом. При этом методе фиксируются моменты изменения импульсов при переходах сканирующего луча с площади одной фазы на другую, отличающуюся от нее яркостью окраски. При этом на определенном отрезке пути сканирующего луча регистрируются число импульсов и их интенсивность. Это позволяет определять все важные параметры пространственного строения: структурный (фазовый) состав материала, удельную поверхность раздела фаз (дисперсность структуры), количество микрочастиц в объеме и их распределение по размерам.

### Список использованных источников

1. *Старчуков Д.С., Козин П.А., Шмаков Р.Б.* Планирование эксперимента и выбор состава бетонов с зольсодержащими добавками при помощи методов регрессионного анализа / Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – Вып. 639. – С. 55–67.
2. *Пантелеев И.Б., Орданьян С.С.* Количественный анализ пористости керамических материалов (с применением автоматического анализатора изображений «ВидеоТест»): учеб. пособие. – СПб.: Технологический институт, 1997. – 70 с.
3. *Гегузин Я.Е.* Диффузионная зона. – М.: Наука, 1979. – 343 с.
4. *Савельев И.В.* Курс общей физики. – М.: Наука, 1971. – Т.3. – 528 с.
5. *Августиник А.И.* Керамика: учебник. – Изд. 2-е – СПб.: Стройиздат, 1975. – 592 с.

В.Ю. Исак

## КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Статья посвящена вопросам современного образования, его совершенствованию, повышению качества знаний через компетентностный подход. Автор анализирует особенность предлагаемой методологии и диалектику понятий «компетентность» и «компетенция».

В качестве модели для отечественного образования предлагается компетентностный подход, являющийся дополнительным фактором поддержания единого образовательного, профессионально-квалификационного и культурно-ценностного пространства.

Ключевые слова: образование, образовательная парадигма, компетенция, компетентностный подход, компетентностное обучение, компетентность и компетенция.

В современной системе образования РФ происходит смена парадигмальных оснований теории и практики образования. Социокультурные изменения неопровержимо доказывают, что существующее образование не отвечает актуальным запросам общества. Оно не в полной мере готовит молодое поколение к успешной, качественной жизни. Появляются новые требования и к человеку, и к образованию. Остался в прошлом лозунг: «Образование на всю жизнь!», «Образование в течение жизни» – вот девиз сегодняшнего дня. Для этого образование должно выйти за пределы решения стандартных задач, где уже заранее известны ответы на все вопросы.

В начале XXI века концепция образования, получаемого на протяжении всей жизни, приобретает ключевое значение. Для решения этого вопроса необходимо научиться приобретать и углублять знания, развивать свои интеллектуальные способности. Непрерывное образование позволяет внести определенный порядок в последовательность различных ступеней образования, обеспечить переход от одной ступени к другой, разнообразить и повысить значимость каждой из них.

Что же стоит за термином «образование»? В современном философском словаре мы находим следующее определение: «Образование – процесс и результат усвоения человеком навыков, умений и теоретических знаний. Слово «Образовывать» имеет двоякое значение: 1) выставлять образец и устанавливать предписания; 2) формировать уже имеющиеся задатки» [1 с. 468].

Образование является внутренним самовозрастающим процессом, который сопровождает жизнь человека.

В словаре С.И. Ожегова понятие «образование» имеет такое значение:

1. Получение систематических знаний и навыков, обучение, просвещение.
2. Совокупность знаний, полученных в результате обучения [2 с. 436].

Таким образом, названный выше принцип – «образование в течение всей жизни» приобретает ключевое значение. В настоящее время стираются традиционные различия между общим и профессиональным образованием. Это тоже одно из требований информационного общества.

В ответ на требования современной жизни педагогика предложила компетентностную образовательную парадигму (Э.Ф. Зеер, И.А. Зимняя, В.А. Сластенин, В.В. Сериков, А.В. Хуторской и др.).

Компетентностный подход сосредоточен на целевой ориентации учебного процесса и формировании у обучающихся определенных навыков. Обучение самоуправлению и мобилизации в проблемных ситуациях – это те новые элементы, которые привносит в учебный

процесс компетентностный подход. Он делает акцент на получение опыта самостоятельного решения проблем, и этот опыт нужен не как некое приложение к полученным знаниям, а как ядро, как смысл всего образовательного процесса.

К настоящему времени накоплен определенный научный опыт осмысления сущности таких категорий, как «компетенция» и «компетентность» (А.Н. Дахин, О.Е. Лебедев, Г.Б. Голуб, Т.В. Иванова, А.В. Баранников, О.В. Чуркова, В.И. Третьяков, А.В. Хуторской и др.). Появились публикации о проблемах профессионально-педагогической компетентности современного учителя (В.А. Адольф, В.М. Антипова, А.Г. Бермус, А.Н. Дахин, О.А. Козырева, Н.В. Кузьмина, А.К. Маркова, М.М. Митина, Г.А. Пахомова, В.А. Трайнев и др.).

Существует, как минимум, две точки зрения о происхождении педагогического термина «компетенция». Согласно первой в основе лежит заимствование из английского языка *competence* – способность, компетенция, восходящее к лат. *competens, competentis* – надлежащий, способный, знающий, сведущий в определенной области; имеющий право по своим знаниям или полномочиям делать или решать что-либо, судить о чем-либо. Понятие «компетенция» было введено Н. Хомским в 1965 году (Массачусетский университет) применительно к теории языка, трансформационной грамматике.

Рассматривая американский подход, важно отметить, что определение и оценка компетенции создавались как альтернатива традиционным тестам измерения уровня интеллекта IQ, которые обладают слабыми возможностями для прогнозирования успешности работы. Американская традиция связывает компетенции с поведенческими характеристиками, такими как самосознание, саморегуляция, социальные навыки, и считает, что они могут быть сформированы через обучение и развитие.

В 1970–90-х годах термин уже довольно широко использовался в теории и практике обучения языкам (особенно иностранным), в подготовке специалистов-менеджеров. Компетентностный подход вышел за рамки теоретических исследований и выступил основой для разработки образовательных программ и технологий. В частности, в США сформировалось направление в педагогике, получившее название *competence-based education* («образование, основанное на компетентности»).

Применительно к языку Н. Хомский отмечал: «Мы проводим фундаментальное различие между компетенцией (знанием своего языка говорящим – слушающим) и употреблением (реальным использованием языка в конкретных ситуациях)» [3 с. 9–10].

В настоящее время, по мнению большинства исследователей, компетенции определяются как нормативное требование к содержанию образования, т. е. совокупность взаимосвязанных качеств личности (знаний, умений, навыков, способов деятельности), задаваемых по отношению к определенному кругу предметов и процессов, и необходимых для качественной продуктивной деятельности с ними. Компетентность – качество личности, определяющее успешность выполнения того или иного вида деятельности (освоенная компетенция).

Компетенция и компетентность соотносятся как потенциальное – актуальное, общее – особенное (индивидуальное), экстериоризованное – интериоризованное, «минимумы» (обязательный минимум содержания основных образовательных программ) – «требования» (требования к уровню подготовки выпускников). Впрочем различие компетенции и компетентности может быть несущественным, как не различаются терминологически, например, знания, умения, предлагаемые для усвоения обучающимся и уже освоенные ими.

Согласно второй точке зрения слово «компетенция» происходит от англ. *compete* – соревноваться и в дословном переводе означает способность соревноваться, соревновательность. Можно полагать, что такое понимание возникло в связи с тем, что после запуска искусственного спутника Земли СССР в 1957 году и последовавшей вслед за этим острой критикой системы образования в США появились публикации, сравнивающие содержание американского и советского образования (например, *Trace A. What Ivan knows that Johnny doesn't* / «Что знает Иван, чего не знает Джонни»). С тех пор интерес к проблеме компетенций как конкурентных

преимуществ (в социально-экономической сфере, на рынке труда) «обычно совпадал с кризисными ситуациями в экономике, образовании и культуре» [4 с. 15].

Вторая точка зрения демонстрирует не только педагогическое, но более широкое, социокультурное, значение компетентностного подхода, который призван служить средством социально-экономической модернизации. От понимания сущности компетенций зависит, будут ли они (как нормативные требования к содержанию образования) иметь инновационный характер, вести за собой прогрессивное развитие, либо компетентностный подход призван лишь констатировать, описывать те явления, которые происходят на рынке труда, и его цель – приспособить образование к ним (т. е. компетенции «плетутся в хвосте» экономики). Нетрудно заметить, что этим моделям соответствуют взгляды Л. С. Выготского и Ж. Пиаже на соотношение обучения и развития личности.

В условиях России реализация компетентностного подхода может выступить дополнительным фактором поддержания единого образовательного, профессионально-квалификационного и культурно-ценностного пространства.

Теперь поразмышляем о том, как можно модернизировать образование на компетентностной основе. Этот вопрос сегодня активно обсуждается (Е.Я. Коган, В.В. Лаптев, О.Е. Лебедев, Е.А. Ленская, А.А. Пинский, И.Д. Фрумин, Б.Д. Эльконин и др.). В нем отражен такой вид содержания образования, который не сводится к знаниево-ориентировочному компоненту, а предполагает целостный опыт решения жизненных проблем, выполнения ключевых (т. е. относящихся ко многим социальным сферам) функций, социальных ролей, компетенции. Разумеется, предметное знание при этом не исчезает из структуры образованности, а выполняет в ней подчиненную, ориентировочную роль. «Мы отказались не от знания как культурного предмета, а от определенной формы знаний (знаний «на всякий случай», т. е. сведений)» [5 с. 27].

Специфика компетентностного обучения состоит в том, что усваивается не «готовое знание» кем-то предложенное к усвоению, а «прослеживаются условия происхождения данного знания» [6 с. 38]. Подразумевается, что учащийся сам формулирует понятия, необходимые для решения задачи. При таком подходе учебная деятельность, периодически приобретая исследовательский или практико-преобразовательный характер, сама становится предметом усвоения.

Рассмотрим составляющие понятия «компетенция» – знания, умения и опыт.

Знания – это результат освоения (ассимиляции) информации через обучение, который и определяется набором факторов, принципов, теорий и практик в соответствующей области деятельности.

Умения – способность к целенаправленной и результативной деятельности (Н.А. Лошкарёва, А.М. Новиков, А.В. Усова, Д.Б. Эльконин).

Опыт – знания, приобретенные в процессе непосредственных переживаний, впечатлений, наблюдений, практических действий.

С позиций компетентностного подхода уровень образованности обучающегося определяется способностью решать проблемы различной сложности на основе имеющихся знаний. Компетентностный подход не отрицает значения знаний, но он акцентирует внимание на способности использовать полученные знания.

Митяева А.М. в своей работе «Содержание многоуровневого высшего образования в условиях реализации компетентностной модели» выделяет следующую структуру компетентностного опыта, который включает ориентировочную основу: 1) компетентное исполнение деятельности на основе образа предполагаемого продукта и логики его создания; 2) концептуальное знание о сущности процесса и результате деятельности; 3) набор апробированных в собственном опыте способов деятельности (мыслительных, организационных, коммуникативных, информационных и др.); 4) выполнение этой деятельности в проблемных условиях (при неполноте задания условий задачи, дефиците информации и времени, невыяв-

ленности причинно-следственных связей, непригодности известных вариантов решений); 5) рефлексия и самоконтроль своих действий [7 с. 57].

Таким образом, с позиций компетентностного подхода основным результатом образовательной деятельности становится формирование ключевых компетенций, которые являются универсальными, применяемыми в различных жизненных ситуациях. Ими должен обладать каждый член общества. Они названы ключевыми, так как являются своего рода ключом к успешной жизни человека в обществе.

#### **Список используемых источников:**

1. Современный философский словарь / под общ. ред. д-ра философ. наук, профессора В.Е. Кемерова. – 3- изд., испр. и доп. – М.: Академический Проект, 2004. – 864 с.
2. Ожегов С.И. и Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. – М., 2000.
3. Chomsky N. Aspects of the Theory of Syntax. – Cambridge, 1969.
4. Исаева Т.Е. Педагогическая культура преподавателя как условие и показатель качества образовательного процесса в высшей школе (Сравнительный анализ отечественного и мирового образовательного процесса). – Ростов-на-Дону, 2003.
5. Эльконин Б.Д. Понятие компетентности с позиций развивающего обучения // Современные подходы к компетентностно-ориентированному образованию. – Красноярск, 2002.
6. Громыко Ю.В. Понятие и проект в теории развивающего образования В.В. Давыдова // Известия РАО. – 2000. – № 2.
7. Митяева А.М. Содержание многоуровневого высшего образования в условиях реализации компетентностной модели // Педагогика. – 2008. – № 8.

А.В. Морозов,  
кандидат физико-математических наук, профессор

## КАЧЕСТВЕННАЯ ТЕОРИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ – ОСНОВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается методология использования в курсе обыкновенных дифференциальных уравнений при изложении вопросов качественного анализа динамических систем программного комплекса *WinSet*. Приводятся примерные варианты лабораторного практикума. Обсуждаемый комплекс, несомненно, будет высоко оценен специалистами, адъюнктами и докторантами академии, научные интересы которых связаны с исследованием динамических процессов.

Ключевые слова: динамическая система, фазовое пространство, аттрактор, положение равновесия, предельный цикл, устойчивость, структурная устойчивость, бифуркация, сепаратриса, моделирование динамических систем на ПК, динамический хаос.

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях научно-технического прогресса и постоянно растущего потока научной информации в образовательном процессе необходимыми шагами являются постоянный поиск новых эффективных форм обучения и переосмысление учебного материала с целью корректировки его подачи и объемов. Ясно также, что было приемлемо и целесообразно в образовании 15–20 лет назад – сегодня уже требует пересмотра. Главное при этом дать будущему специалисту фундаментальные знания и оградить его от прослушивания второстепенных и малозначимых фактов теории, изучение которых может быть либо опущено вовсе, либо отдано на самостоятельную работу. Говоря точнее, учить надо тому, что является по-настоящему трудным, важным и актуальным. Использование компьютерных методов в учебном процессе делает современное преподавание математических дисциплин значительно более полноценным. В условиях широкого использования вычислительной техники необходимо сместить акценты в преподавании дифференциальных уравнений [1, 2]. Главная проблема, стоящая в преподавании, – сократить разрыв между учебным курсом, в данном случае между курсом обыкновенных дифференциальных уравнений, и современным состоянием науки. Нельзя ограничиваться изложением научных фактов прошлого века, не знакомя с современными достижениями науки.

В статье предлагается новый подход (методология) к изучению одного из важнейших разделов теории дифференциальных уравнений – динамических систем, основанный на использовании программного комплекса *WinSet*, разработанного в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского Т.Н. Драгуновым на кафедре дифференциальных уравнений под руководством профессора А.Д. Морозова [3]. Использование этого комплекса в учебном процессе преследует двоякую цель. С одной стороны, учащиеся получают возможность ощутить и визуализировать те геометрические объекты, которые являются центральными понятиями качественной теории дифференциальных уравнений, лежащей в основе теории динамических систем, и закрепить тем самым теоретический материал, с другой – познакомиться с элементами математического моделирования, вырабатывая навыки проведения вычислительного эксперимента.

Кроме того, предлагаемый к использованию программный комплекс *WinSet*, несомненно, будет высоко оценен специалистами и окажет неоспоримую помощь адъюнктам и докторантам академии, научные интересы которых связаны с исследованием динамических процессов. Подчеркнем, что комплекс *WinSet* является свободно распространяемым.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И БИФУРКАЦИИ

Дифференциальные уравнения открыл И. Ньютон, равно как и весь математический анализ. Можно сказать, что именно потребности решения дифференциальных уравнений механики (в первую очередь небесной) подтолкнули его к развитию соответствующей теории. Он первым дал аналитическое доказательство эмпирически открытых законов Кеплера о движении планет, основываясь на открытом им законе всемирного тяготения. Таким образом, было положено начало эры исследования эволюционных процессов с помощью специальных математических моделей – обыкновенных дифференциальных уравнений. В начальный период становления дифференциальных уравнений как науки одной из основных задач была задача о нахождении общего решения или частного решения в квадратурах, т. е. через интегралы от известных функций. Такими задачами занимались Л. Эйлер, Ж. Даламбер, Ж. Лагранж, Я. Риккати. Толчками к развитию дифференциальных уравнений были задачи механики и геометрии. Эйлер создал основы движения твердого тела, проблема малых колебаний механических систем привела Лагранжа к созданию теории линейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, которая позже оказала большое влияние на формирование линейной алгебры. Он же открыл аналитическую механику, где с единых позиций был обобщен и подытожен опыт многих исследователей механического движения. Можно сказать, что механика, дифференциальные уравнения и возникшее в это же время вариационное исчисление развивались параллельно, обогащая друг друга идеями, методами и постановками задач.

Важным моментом для развития теории дифференциальных уравнений стало доказательство Ж. Лиувиллем (1841) невозможности разрешения в квадратурах уравнения Риккати:

$$\frac{dy}{dx} + \alpha(x)y + \beta(x)y^2 = \gamma(x),$$

в случае произвольных функций  $\alpha(x), \beta(x), \gamma(x)$ . Постепенно сформировалось и окончательное представление об узости класса дифференциальных уравнений, интегрируемых в квадратурах. Однако вся дальнейшая история обыкновенных дифференциальных уравнений доказала, что аппарат таких уравнений чрезвычайно эффективен не только для исследования задач механики (динамики), но и для электротехники, радиотехники, теории колебаний, теории управления, гидродинамики, а также химии, биологии и даже экономики. Такая широта приложений и универсальность аппарата позволили взглянуть на саму теорию с общих позиций и именовать уравнения эволюционных процессов динамическими системами с единственной оговоркой, что все решения таких систем, т. е. дифференциальных уравнений, должны быть определены на бесконечном вправо промежутке времени, т. е. при  $t \in (0, +\infty)$ .

Сегодня под динамической системой понимают либо систему дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = f(x), \quad x \in M \subset R^n,$$

относительно неизвестной вектор-функции времени  $x = x(t)$ , предполагая, что каждое решение этой системы определено при всех  $t \geq 0$ , либо систему разностных уравнений:

$$x^{k+1} = f(x^k), \quad x^k \in M \subset R^n, \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

В первом случае говорят о динамической системе с непрерывным временем, во втором – о динамической системе с дискретным временем. При этом пространство  $R^n$  называют *пространством состояний* или *фазовым пространством* системы. Последнее название связано с тем, что в прошлом состояния нередко называли *фазами* системы. Дискретные динамические системы возникают в двух случаях: в результате перехода к разностным схемам при численном интегрировании и при построении отображений последования (Пуанкаре) [4].

Основателем качественной теории динамических систем по праву считают великого французского математика и механика Анри Пуанкаре (1854–1912), который первым обратил внимание на то, что между дифференциальными уравнениями эволюционных процессов и геометрией существует тесная связь и предложил изучать поведение физических в широком смысле слова систем геометрически. При этом операция интегрирования системы вообще не использовалась. Результатом таких исследований, таким образом, становились рисунки – фазовые картины, представляющие собой совокупности отдельных кривых (траекторий), характеризующих развитие физической системы с заданными начальными условиями:  $x(0) = x_0 \in R^n$ . Такой подход является, безусловно, эффективным в случаях, когда  $n = 2$  и  $n = 3$ . Однако и в случаях большей размерности фазового пространства он также позволяет сделать важные заключения.

Выдающийся вклад в становление современной теории динамических систем внес наш соотечественник – Александр Михайлович Ляпунов, основав математическую теорию устойчивости – важный раздел науки для анализа и синтеза современной техники. Пуанкаре и Ляпунов с разных позиций, дополняя друг друга в различных аспектах, создали основы качественного анализа динамических систем. Пуанкаре дал классификацию динамических систем на плоскости, ввел классификацию положений равновесия, рассмотрел предельные циклы, гомоклинические и гетероклинические траектории, сформулировал критерий устойчивости предельного цикла, ввел понятие бифуркации динамической системы. Большая часть его открытий носили чисто математический характер и не имели технического воплощения. Однако годы спустя многие из результатов Пуанкаре нашли и техническое подтверждение. В первую очередь это касается связи автоколебаний, открытых Ван дер Полем в ламповом генераторе, с предельными циклами, открытыми ранее Пуанкаре. Кроме того, Пуанкаре оказался предсказателем и детерминированного хаоса – сложного поведения траекторий, при котором все траектории динамической системы при  $t \rightarrow +\infty$  погружаются в некоторый эллипсоид, но, оказавшись в эллипсоиде, ведут себя друг относительно друга неустойчиво. Открытие детерминированного хаоса состоялось через 60 лет после его смерти. Результаты Ляпунова по теории устойчивости сегодня излагаются во всех учебниках по дифференциальным уравнениям, автоматическому управлению и регулированию [5, 6].

Понятие бифуркации для современной техники играет исключительно важную роль. Бифуркация означает раздвоение, ветвление. В школе ученики с этим понятием знакомятся на уроках физики, а также математики. Правда, в лексиконе учителей термин «бифуркация» отсутствует. Все хорошо знают, что если воду охладить ниже температуры ноль градусов, то она приобретет новое качество и из жидкого состояния перейдет в твердое. Значение температуры  $t^0 = 0$ , при котором начинается это «волшебство», математики называют бифуркационным, а само явление – бифуркацией (физики – фазовым переходом). Другой пример: представим горизонтально расположенную и сжатую некоторой постоянной силой металлическую линейку так, чтобы ее выпуклая часть была направлена вверх. В верхней точке линейки приложим вертикальную силу  $P$ , направленную вниз. При некоторых значениях силы форма линейки практически не будет меняться, однако если значение нашей нагрузки превысит некоторое (критическое) значение  $P_*$ , линейка резко (скачкообразно) изменит свою форму. Причем новая форма не обязательно будет симметричной исходной относительно горизонтальной линии. Значение нагрузки  $P_*$ , при котором этот скачок произошел, и есть бифуркационное значение параметра. Подобный пример только лишь с вертикально установленной и нагруженной колонной впервые был рассмотрен Эйлером. Приведенные примеры тривиальны, и читатель без труда может вспомнить или отыскать другие. Главное в явлении бифуркации – это то, что рассматриваемый объект (система) при изменении характеризующих его (ее) параметров приобретает новое качество. Таким образом, бифуркация – это формализация (математическое обоснование) философского закона перехода количества в качество [6].

Если говорить о теории бифуркаций как о науке, то она является второй составляющей современной теории динамических систем. В теории бифуркаций изучаются семейства динамических систем, зависящих от векторного параметра  $\mu$ :

$$\dot{x} = f(x, \mu); \quad x \in M \subset R^n; \quad \mu \in R^m.$$

Задача исследования таких систем сводится к параллельному рассмотрению пространства параметров и фазового пространства или пространства состояний. Если структура фазового пространства какой-либо системы топологически не изменяется при изменении параметров системы, то такая система называется структурно устойчивой (по А.А. Андронову и Л.С. Понтрягину – грубой). Грубые системы – это хорошие математические модели, ибо любая математическая модель является идеализированной. Эта идеализация и заключается в свойстве грубости системы. Заметим, что качественная теория динамических систем на плоскости в основном построена [4–8].

Неоценимую помощь в усвоении сложных положений качественной теории динамических систем в настоящее время оказывают пакеты прикладных программ, такие, например, как *MATLAB*, *MATHCAD*, *MATHEMATICA*, *Scilab*. Они же позволяют весьма эффективно детализировать поведение траекторий в фазовом пространстве при проведении научных исследований, проанализировать зависимость структуры фазового пространства от параметров системы, позволяют визуализировать многие теоретические факты.

Сегодня необходимо формирование специалиста, владеющего как основами качественного анализа, так и основами вычислительного эксперимента, искусством моделирования динамических систем на компьютере и умеющего проводить осознанные имитационные эксперименты [9].

Выше отмечалось, что явное интегрирование дифференциальных уравнений, вообще говоря, невозможно. Кроме того, современное развитие качественной теории дифференциальных уравнений привело также к пониманию того, что и полное качественное исследование многомерной динамической системы с учетом многомерности пространства параметров также невозможно. Это сегодня также ясно, как и неразрешимость алгебраических уравнений выше пятой степени в радикалах. Отсюда вывод: что можно сделать аналитически – необходимо делать. Например, найти все положения равновесия системы, установить зависимость их от параметров, исследовать их на устойчивость, выяснить основные бифуркации в системе, выяснить существующие симметрии в фазовом пространстве, проанализировав особенности векторного поля системы (это необходимый начальный этап любого исследования). Вопросы детализации структуры фазового пространства являются трудными при аналитическом исследовании, и их необходимо разрешать с использованием ЭВМ.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС WINSET

Численное исследование предполагает инструмент исследования – специализированное программное обеспечение (СПО). Существующие универсальные математические пакеты, такие как *MAPLE*, *MATHCAD*, *MATHEMATICA*, *MATLAB* и другие, не всегда удовлетворяют требованиям конкретных задач, в частности оперативного построения фазовых портретов конкретного представителя семейства динамических систем. Это приводило и приводит к необходимости разработки новых программных средств. Существующее в настоящее время математическое ПО можно классифицировать по нескольким критериям: наборы подпрограмм и интегрированные комплексы, средства выполнения аналитических вычислений и пакеты визуализации, коммерческое и свободно распространяемое ПО. Они содержат богатый набор алгоритмов численного решения дифференциальных уравнений и графической визуализации. Однако универсальные перечисленные средства не являются наилучшими при

рассмотрении конкретного круга задач. В настоящее время не хватает программных средств, ориентированных на интерактивную работу пользователя с графическим построением и визуализацию динамических процессов в режиме «on-line». В данном случае принципиальны два предположения относительно объектов исследования: сравнительно небольшая размерность системы (как следствие, умеренный объем данных), а также то, что требуется визуализация динамических процессов, а не статических данных. Программный комплекс *WinSet* является небольшим удобным проблемно-ориентированным и свободно распространяемым продуктом. Он занимает небольшой объем памяти (1,3 Mb), допускает возможность расширения набора построений и методов вычисления и в наилучшей степени отвечает потребностям оперативного моделирования динамических систем, содержащих варьируемые параметры [3]. Интерфейс *WinSet* похож на основные программные продукты, использующиеся в среде *Windows*. Кроме того, он прост в использовании – на его освоение уйдет от одного до трех часов. Для демонстрационных и учебных целей он является, по нашему мнению, наилучшим. Однако и опытные пользователи вычислительной техники, и специалисты в динамике найдут в нем большое подспорье для проведения своих исследований.

### ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *WINSET* В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

На кафедре информационных систем и вычислительной техники Горного университета, а также в Северо-западном политехническом университете с 2003 года читается курс «Математические основы теории систем». Видное место в нем занимает анализ нелинейных динамических систем как аналитическими, так и численными методами [6, 7]. Студенты знакомятся со способами описания динамических систем, их классификацией, с элементами качественной (геометрической) теории дифференциальных уравнений на плоскости и пространстве, с основными понятиями и теоремами теории устойчивости, с дискретными отображениями и различными приложениями этой теории. В курсе много конкретных примеров: из механики – уравнения Дюффинга и маятника, электротехники и электроники – уравнения Ван-дер-Поля и Рэля, математической теории популяции – модель В. Вольтерра, химии – брюсселятор, гидродинамики – модель Е. Лоренца [6]. Важное место в курсе занимает изучение вопросов зависимости структуры фазового портрета динамической системы от параметров. Как уже отмечалось, эти вопросы составляют содержание теории бифуркаций. Заметим, что теория бифуркаций лежит в основе теории катастроф, а также синергетики [10]. Приводятся примеры нормальных форм, демонстрирующих элементарные бифуркации в динамических системах на плоскости [2].

Курс предусматривает выполнение студентами четырех лабораторных работ: «Линейные динамические системы», «Элементы теории нелинейных колебаний», «Бифуркационный анализ динамических систем», «Аттракторы нестационарных систем» с использованием программы *WinSet*. Во вводной части первой лабораторной работы преподаватель за 30–40 минут имеет возможность показать: основные возможности программы и приемы работы с ней, типовые фазовые портреты нелинейных консервативных, диссипативных и автоколебательных систем с одной степенью свободы, устойчивые и неустойчивые стационарные режимы, отображаемые положениями равновесия и циклами, явление изохронных и неизохронных колебаний, гомоклинические и гетероклинические траектории, свойство грубости системы, чувствительную зависимость траекторий от начальных данных и др.

В первой лабораторной работе происходит знакомство с программой на примере анализа линейной динамической системы на плоскости:

$$\begin{cases} \dot{x} = p_1x + p_2y; \\ \dot{y} = p_3x + p_4y. \end{cases}$$

При этом в индивидуальных заданиях фиксируются три из четырех параметров, и требуется провести анализ системы по оставшемуся – четвертому параметру. Причем необходимо привести всевозможные фазовые портреты, включая вырожденные случаи.

Во второй работе исследуются два нелинейных осциллятора, описываемые классическими уравнениями – с кубической нелинейностью и Ван дер Поля:

$$\ddot{x} + p_1\dot{x} + p_2x + p_3x^2 + p_4x^3 = 0;$$

$$\ddot{x} + p_1(p_2x^2 + 1)\dot{x} + p_3x = 0.$$

Здесь студенты определяют положения равновесия, проводят линеаризацию, знакомятся с фазовыми портретами консервативных и диссипативных систем, учатся строить сепаратрисы седловых положений равновесия и конечно знакомятся с предельными циклами (рис.1).

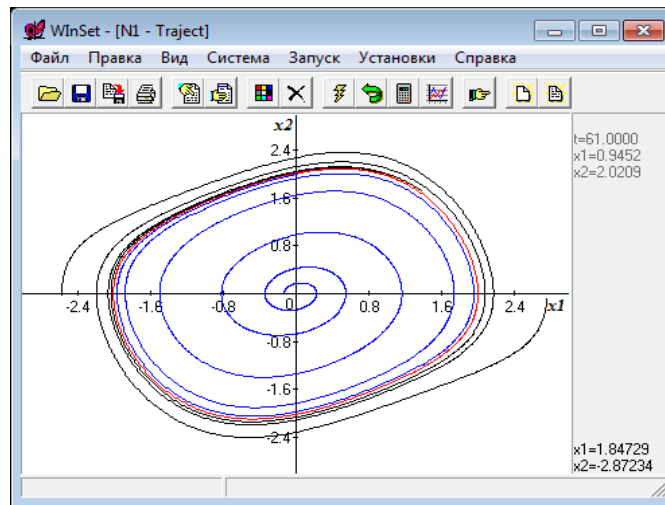


Рис. 1 Фазовый портрет уравнения Ван дер Поля, выполненный в WinSet

В третьей лабораторной работе исследуется нелинейная система с параметром  $p$ :

$$\begin{cases} \dot{x} = P(x, y, p); \\ \dot{y} = Q(x, y, p). \end{cases}$$

В каждом варианте функции  $P(x, y, p)$ ,  $Q(x, y, p)$  фиксируются, например  $P = x^2 + y^2 - 2$ ,  $Q = x + y - p$ . Требуется провести полный бифуркационный анализ (найти положения равновесия, линеаризовать систему в них, установить тип положений равновесия, найти бифуркационные значения параметра), привести фазовые портреты, выполненные в *WinSet*.

Последняя – четвертая лабораторная работа является по-настоящему исследовательской. Результатом работы является построение карты динамических режимов конкретного нелинейного осциллятора типа Дюффинга или Ван дер Поля с гармоническим внешним воздействием и одним переменным параметром  $A \in [\alpha, \beta]$ . Карта динамических режимов представляет собой разбиение отрезка  $[\alpha, \beta]$  на интервалы. Для каждого интервала указывается период соответствующего ему устойчивого колебания – аттрактора. При этом интервалы в некоторых случаях могут и перекрываться, что соответствует возможности генерирования осциллятором в этих областях принципиально разных режимов, включая как регулярные колебания, так и хаотические режимы. Вариантом такой работы может быть исследование осциллятора Дюффинга с внешним нестационарным воздействием  $A \sin(t)$ , на фазовой плоскости которого можно наблюдать развитие хаотического режима в результате последовательности бифуркаций удвоения периода. На рис. 2 для значений параметров  $\lambda = 0.35$  и  $A \in [2.7; 6.7]$  приведены фазовые портреты устойчивых колебаний – аттракторов. Видно, что с ростом амплитуды  $A$  возникает последовательность бифуркаций удвоения периодов, заканчивающаяся

### Сценарий развития хаоса

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2; \\ \dot{x}_2 = -\lambda x_2 - x_1^3 + A \sin(t). \end{cases}$$

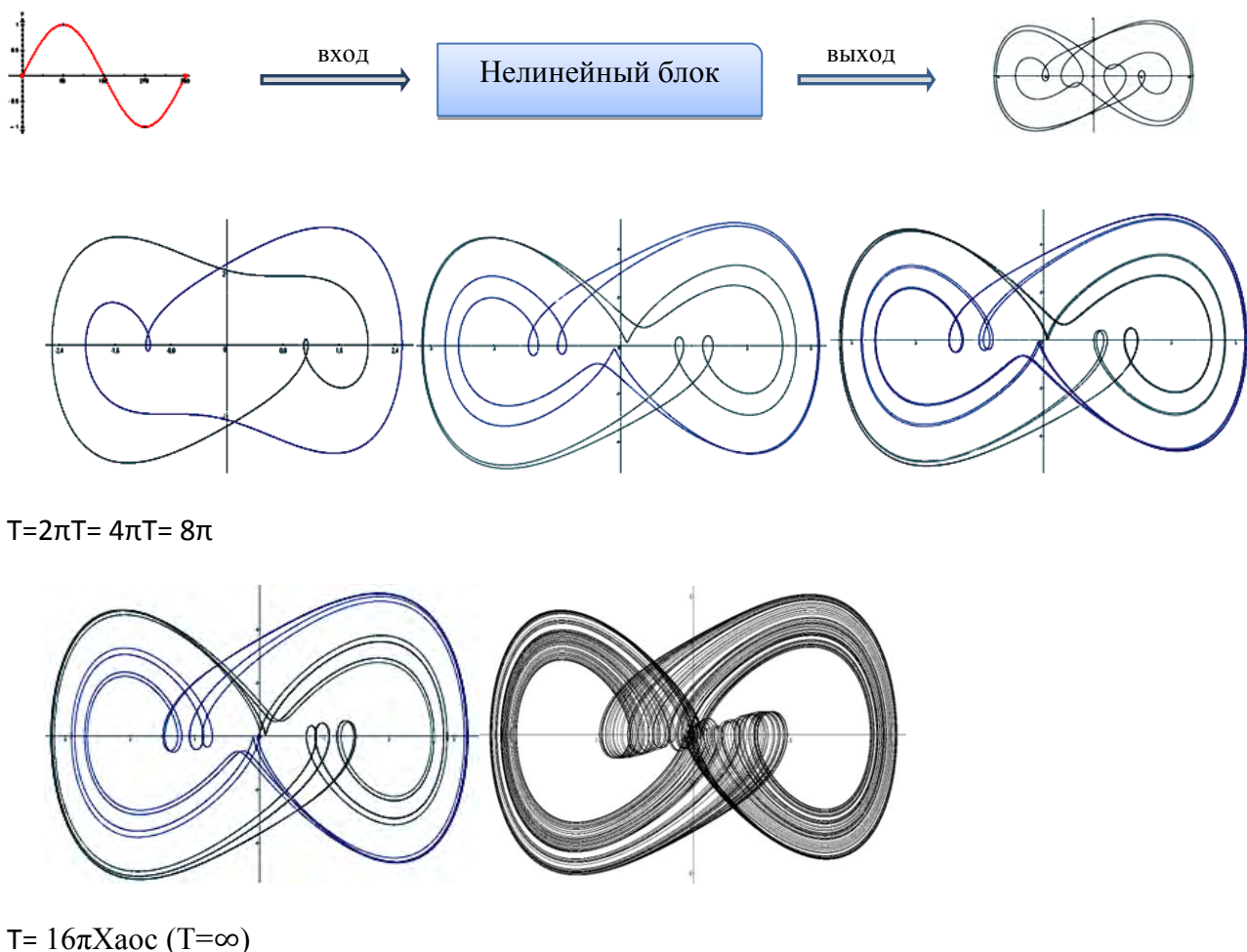


Рис. 2. Аттракторы уравнения Дюффинга  $\ddot{x} + 0.3\dot{x} + x^3 = A \sin(t)$  различных периодов и хаос (период равен бесконечности)

при  $A = 6,7$  хаосом – устойчивым колебанием бесконечной амплитуды. Впервые этот пример был приведен Германом Хакеном в работе [10] и подробно рассмотрен Уедой в работе [11].

### ВЫВОДЫ

Таким образом, программа *WinSet* позволяет эффективно и наглядно исследовать динамические системы различной природы и может быть рекомендована наряду с широко известными пакетами *MATLAB*, *MAPLE*, *MATHEMATICA* для широкого использования в учебном процессе по дисциплинам естественно-научного и профессионального циклов, в которых основным объектом описания являются динамические системы. Кроме того, она позволяет познакомить учащихся с дискретными отображениями и хаосом в дискретных и непрерывных системах, а также знаменитыми фракталами Жюлиа и Мандельброта [3].

В заключение, выскажем в тезисной форме несколько соображений по поводу соотношения теоретического анализа и моделирования систем на персональном компьютере.

1. Использование математических пакетов с развитыми средствами визуализации параллельно с изучением теоретического материала, в частности в курсе дифференциальных уравнений, является эффективным приемом закрепления теории. Программа *WinSet* решает эту задачу, по нашему мнению, наилучшим образом.

2. Знание теоретических положений дает возможность проводить вычислительные эксперименты осмысленно и целенаправленно. Полезно напомнить, что нет ничего практичней хорошей теории.

3. Работа за компьютером повышает интерес учащихся к теоретическим фактам и теории вообще. Таким образом, наличие параллельно с учебником и тетрадью включенного ПК реализует эффективную отрицательную обратную связь.

4. Бесспорно то, что молодые люди осваивают программные продукты с большим интересом (чем теорию) и несравнимо быстрее, чем люди в зрелом возрасте. Поэтому в учебном процессе на эту учебную составляющую не уйдет много времени.

5. Дискретные модели, и это объективность, в недалеком будущем будут в количественном отношении значительно превалировать над непрерывными моделями. Этот завтрашний день не следует отодвигать.

#### Список используемых источников

1. Треногин В.А. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Физматлит, 2009. – 312 с.

2. Арнольд В.И. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1978. – 304 с.

3. Морозов А.Д., Драгунов Т.Н. Визуализация и анализ инвариантных множеств динамических систем. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 304 с.

4. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Физматгиз, 1959. – 915 с.

5. Леонов Г.А. Теория управления. – СПб.: СПбГУ, 2006. – 316с.

6. Морозов А.В., Бригаднов И.А. Математические основы теории систем. Динамические системы. – СПб.: СЗТУ, 2007. – 237 с.

7. Морозов А.В. О построении лабораторных работ в курсе математических основ теории систем // Теория и практика современной науки: материалы V Международной научно-практической конференции, г. Москва, 3-4 апреля 2012 г.: в 2 т. / Научный информационный издательский центр «Институт стратегических исследований». – М.: Спецкнига, 2012. – Т.1.

8. Методы качественной теории в нелинейной динамике / Л.П. Шильников, А.Л. Шильников, Д.В. Тураев, Л.Чуа. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – Ч. I. – 416 с.

9. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB 5 и Scilab. – СПб.: Наука, 2001. – 286 с.

10. Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 419 с.

11. Ueda Y. Steady Motions Exhibited by Duffing's Equation: A Picture Book of Regular and Chaotic Motions. – In: New Approaches to Nonlinear Problems in Dynamics / Ed. P.J. Holmes. – Philadelphia: SIAM, 1980. – P. 311–322.

Г.К. Осипов,  
*доктор географических наук, профессор;*  
И.Ю. Воронков,  
*кандидат военных наук;*  
В.В. Хиленко;  
М.А. Голубев,  
*кандидат военных наук.*

## **СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКНИКОВ ВЫСШИХ ВОЕННО-УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА КАК УСЛОВИЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ВОЕННЫХ КАДРОВ**

Изложены особенности и приведена теоретическая модель компетентностного подхода к системному проектированию профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений. Рассмотрены основные этапы ее практической реализации.

Ключевые слова: системное проектирование, компетентностный подход, теоретическая модель, технология проектирования профессиональной подготовки.

В военной доктрине Российской Федерации определены основные задачи развития Вооруженных сил:

- 1) качественное совершенствование средств информационного обмена на основе использования современных технологий и международных стандартов;
- 2) создание единого информационного поля Вооруженных сил как части информационного пространства Российской Федерации;
- 3) создание новых образцов высокоточного оружия и развитие их информационного обеспечения;
- 4) создание базовых информационно-управляющих систем и их интеграция с системами управления оружием и комплексами средств автоматизации органов управления стратегического, оперативно-стратегического, оперативного, оперативно-тактического и тактического уровней.

Для реализации перечисленных задач армии нужны образованные люди, которые могут самостоятельно принимать профессионально обоснованные ответственные решения, способные к сотрудничеству, обладающие большой мобильностью, динамизмом, конструктивностью, высоким чувством ответственности за судьбу страны.

Чтобы подготовить таких специалистов требуется совершенствование образовательного процесса в высших военно-учебных заведениях. Решение данной задачи может быть достигнуто за счет системного проектирования профессиональной подготовки обучающихся на основе компетентностного подхода, учитывающего потребности Вооруженных сил Российской Федерации в специалистах соответствующего профиля, требования, предъявляемые к таким специалистам, а также возможности высшего военно-учебного заведения по их обучению.

Введение компетентностного подхода в систему высшего образования РФ предписано в основных документах, регламентирующих образовательный процесс, к которым относятся: 1) Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»; 2) Концепция модернизации российского образования на период до 2020 года; 3) Постановление Правительства Российской Федерации от 7 февраля 2011 г. № 61 г. Москва «О Федеральной целевой программе развития образования на 2011–2015 годы» и др.

Компетентностный подход в высшем образовании предполагает определение его результатов в виде набора компетенций характеризующих практико-ориентированную направленность профессиональной подготовки курсантов, усиление роли самостоятельной работы по разрешению задач и ситуаций, имитирующих проблемы военно-профессиональной деятельности. При этом под компетентностью понимается единство теоретической и практической готовности к осуществлению профессиональной деятельности.

Если квалификационный подход направлен на формирование у выпускника вуза системы знаний, умений и навыков по выполнению, как правило, типовых видов профессиональной деятельности в стабильных условиях, то реализация компетентностного подхода обеспечивает сформированность у него социально-профессиональной компетентности как интегрированного результата образования [1].

На современном этапе развития отечественного образования компетентностный подход провозглашается как одно из важнейших концептуальных положений обновления образовательных систем. К настоящему времени достаточно четко сформулированы концептуальные основы компетентностного подхода и разработаны его основные положения. Наступает новый этап его реализации, связанный с решением прикладных задач.

Использование компетентностного подхода в качестве основы системного проектирования профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений позволит решить существующие в настоящее время противоречия:

- между системой высшего военного образования и современными требованиями к профессиональной подготовке военных кадров;
- интегративной природой военной деятельности, универсальным характером возникающих военно-профессиональных задач и узкопредметной направленностью подготовки курсантов;
- преобладающей в образовательном процессе военных вузов обучающей функцией, ориентированной на формирование у курсантов преимущественно предметных знаний, умений и навыков в ущерб их личностному и профессиональному развитию, и запросами Вооруженных сил РФ на воспитание нравственно, интеллектуально и физически развитой личности;
- потребностью внедрения компетентностного подхода в высшие военно-учебные заведения и его научно-методическим обеспечением, не в полной мере отвечающим современным требованиям высшей школы;
- положительным опытом педагогов-новаторов в развитии компетентностного подхода и отсутствием навыков его практической реализации при системном проектировании профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений.

На основе обобщения имеющегося опыта по проектированию образовательного процесса была разработана теоретическая модель профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений, реализующая компетентностный подход, которая представлена на рис. 1.

Компетентностный подход, будучи ориентированным прежде всего на новое видение целей и оценку результатов профессионального образования, предъявляет свои требования и к другим компонентам образовательного процесса – содержанию, педагогическим технологиям, средствам контроля и оценки.

Технология системного проектирования профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений на основе компетентностного подхода включает в себя три основных этапа:

- 1) разработка моделей профессиональных компетенций выпускников высших военно-учебных заведений и придание им нормативного статуса (вузовского стандарта);
- 2) проектирование содержания рабочих программ по дисциплинам профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений, обеспечивающих формирование компетенций;

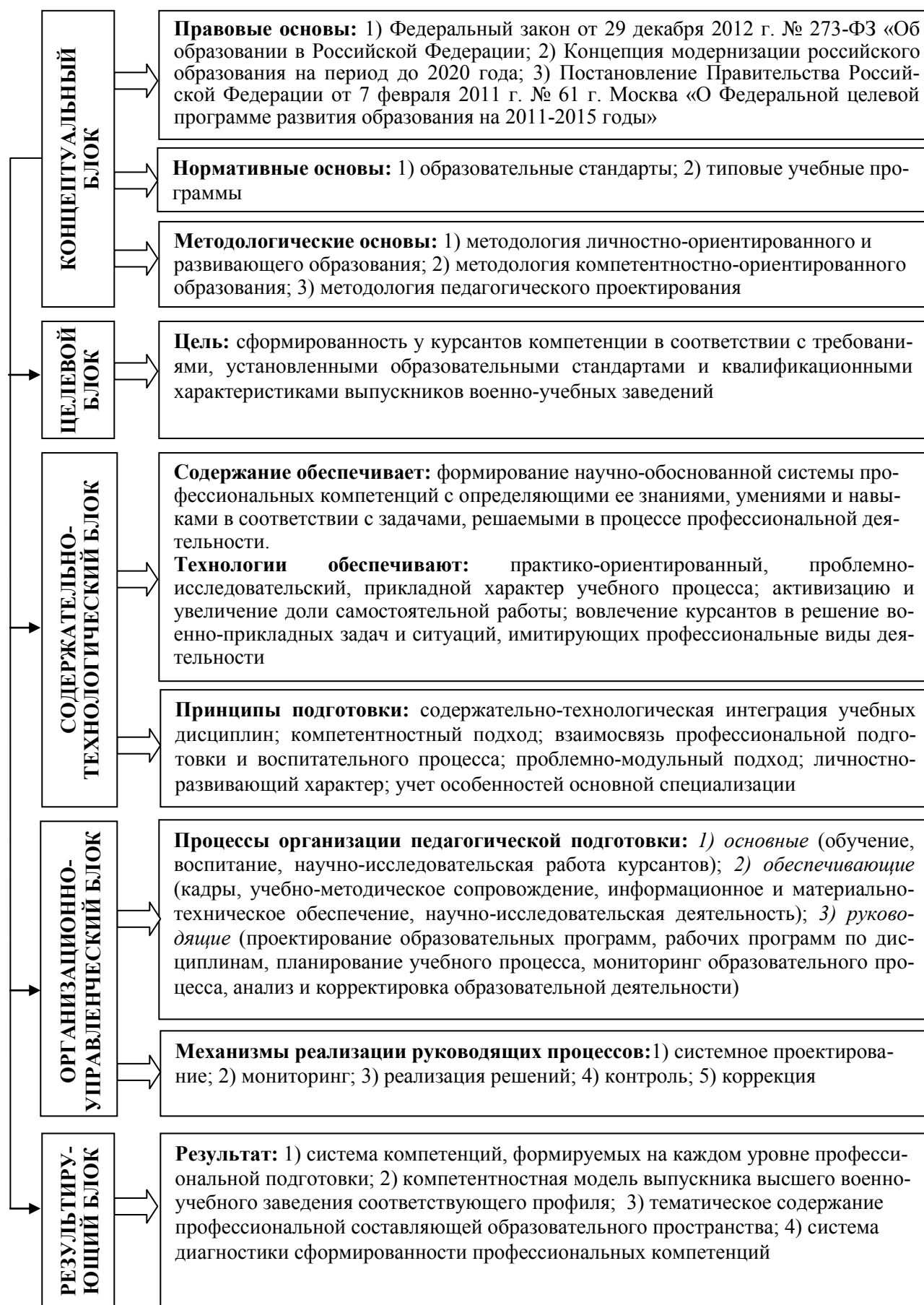


Рис. 1. Теоретическая модель профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений на основе компетентностного подхода

3) разработка технологии диагностики уровня сформированности профессиональных компетенций у выпускников высших военно-учебных заведений и организация мониторинга образовательного процесса.

Кратко рассмотрим содержание каждого из этапов технологического цикла.

**1. Разработка моделей профессиональных компетенций выпускников.** Модель профессиональных компетенций – это логическое описание элементов и функций, обеспечивающих формирование профессиональных компетенций. Модель профессиональных компетенций содержит детальное описание стандартов поведения человека, занимающего конкретную должность.

Процесс разработки моделей профессиональных компетенций включает в себя:

- 1) анализ потребности вооруженных сил в данной специальности (специализации);
- 2) изучение международного опыта в области регулирования соответствующих видов деятельности;
- 3) ознакомление с образовательными программами ведущих отечественных и зарубежных вузов по данной специальности (специализации);
- 4) исследование современного состояния качества подготовки кадров для Вооруженных сил по данной специальности (специализации);
- 5) изучение должностных инструкций и квалификационных характеристик специалистов по данной специальности (специализации);
- 6) описание деятельности и/или задач, которые необходимо выполнять выпускникам высших военно-учебных заведений в войсках с учетом перспектив развития данной специальности (специализации);
- 7) проведение опроса заказчиков подготовки, командиров частей и выпускников вузов для формирования перечня профессиональных компетенций;
- 8) разработка моделей профессиональных компетенций, связанных с решением задач, стоящих перед вооруженными силами по данной специальности (специализации).

Качественное содержание моделей профессиональных компетенций выпускников должно отвечать следующим критериям:

1. Соответствие стратегическим целям Вооруженных сил.
2. Обеспечение интересов выпускников и заказчиков подготовки.
3. Оптимальный набор элементов модели, отсутствие повторений и пересечений.
4. Измеряемость компетенций и наличие системы учета изменений.
5. Простота и прозрачность модели компетенций.

**2. Проектирование содержания рабочих программ по дисциплинам профессиональной подготовки.** Рабочая программа представляет собой нормативно-управленческий документ, характеризующий систему организации образовательной деятельности. Рабочая программа является компонентом основных образовательных программ, средством фиксации содержания образования на уровне учебных дисциплин. Таким образом, рабочая программа – это нормативный документ, определяющий объем, порядок, содержание изучения и преподавания учебной дисциплины, основывающийся на ее типовой программе.

Для проектирования содержания рабочих программ по дисциплинам профессиональной подготовки предлагается использовать метод кластерного анализа.

Кластерная выборка предполагает осуществление стратификации генеральной совокупности всех возможных учебных элементов, которые способны выразить содержание государственного образовательного стандарта. Данная процедура включает в себя определение групп стратификационных показателей, по которым рассчитывается процент необходимого количества единиц отбора выборочной совокупности.

При проектировании рабочей программы учебной дисциплины в качестве стратификационных показателей могут выступать уровни ее структурирования (разделы, темы и отдельные вопросы). Стратификация осуществляется с использованием экспертных методов, которые позволяют установить процентные соотношения между содержательной значимостью

структурных элементов, относящихся к различным разделам и темам рабочей программы. Таким образом формируется репрезентативная выборка структурных элементов, отражающая государственный образовательный стандарт [2].

Используя полученную выборку структурных элементов, необходимо количественно оценить существующие взаимосвязи внутри рассматриваемых кластеров. Располагая в центре кластера произвольный структурный элемент рабочей программы, а вокруг него структурные элементы, входящие в состав той же темы и образующие ближайшее окружение, необходимо подсчитать экспертно установленные взаимосвязи между ними. Затем в центре кластера располагаются другие структурные элементы и вычисляются коэффициенты взаимосвязи между всеми возможными парами рассматриваемых элементов. В результате отдельные элементы структурируются внутри учебной темы по степени выраженности взаимосвязи. Совокупность коэффициентов взаимосвязи, заданных на локальных участках рабочей программы, образует первое приближение образовательного пространства учебной дисциплины.

Окончательная корректировка образовательного пространства учебной дисциплины осуществляется путем учета взаимосвязи структурных элементов рабочей программы со структурными элементами рабочих программ других учебных дисциплин рассматриваемой специальности (специализации). Процедура корректировки включает в себя:

- 1) стратификацию генеральной совокупности учебных элементов рабочих программ всех дисциплин, включенных в учебный план конкретной специальности (специализации) в соответствии с государственным образовательным стандартом;

- 2) составление бланков экспертизы рабочих программ всех дисциплин в соответствии со стратификационными показателями структурирования каждой из них;

- 3) экспертную оценку значимости разделов относительно всего курса, тем – относительно соответствующих разделов, вопросов – относительно тем для рабочих программ всех дисциплин;

- 4) определение комплексной весомости каждого учебного элемента всех рабочих программ;

- 5) составление перечня структурных элементов рабочих программ всех дисциплин, включенных в учебный план;

- 6) количественную оценку степени взаимосвязи между структурными элементами как внутри отдельной рабочей программы, так и со структурными элементами рабочих программ других учебных дисциплин.

**3. Разработка технологии диагностики уровня сформированности профессиональных компетенций.** В основу технологии диагностики уровня сформированности профессиональных компетенций заложена теоретическая модель, представленная на рис. 2. Технология включает в себя семь основных этапов:

1. Подготовительные работы.
2. Отбор и структурирование диагностируемого материала.
3. Определение процедуры диагностики компетенций.
4. Конструирование оценочных средств.
5. Экспертиза и корректировка оценочных средств по результатам диагностики компетенций.
6. Диагностика компетенций и интерпретация ее результатов.
7. Использование результатов диагностики компетенций в учебном процессе.

Кратко раскроем содержание каждого этапа данной технологии.

1. *Подготовительные работы.* Этот этап включает в себя принятие решения о разработке средств диагностики компетенции с назначением ответственных лиц, разработчиков и экспертов.



Рис. 2. Теоретическая модель диагностики уровня сформированности профессиональных компетенций

2. *Отбор и структурирование диагностируемого материала.* Этот этап включает в себя создание классификатора индикаторов сформированности компетенций в ходе изучения учебных дисциплин; отбор, экспертизу и структурирование диагностируемого материала.

3. *Определение процедуры диагностики компетенций.* Этот этап включает в себя выбор формы (устная, письменная; групповая, индивидуальная) и вида диагностики (предварительная, текущая, промежуточная, итоговая), обоснование оценочных средств для измерения уровня сформированности компетенций (экзамен, тестирование, презентация портфолио и др.), определение подхода к интерпретации результатов диагностики (нормативно- или критериально-ориентированный); определение требований к уровню сформированности компетенций курсантов для разных курсов обучения; определение структуры оценочных средств.

4. *Конструирование оценочных средств (разработка и подбор заданий в соответствии со структурой компетенций и содержательной областью их диагностики).* Этот этап включает в себя разработку заданий; конструирование оценочных средств по принципу возрастающей или чередующейся трудности; составление инструкций для курсантов и преподавателей по выполнению заданий; создание образца выполнения заданий и его утверждение.

5. *Экспертиза и корректировка оценочных средств по результатам диагностики компетенций.* Этот этап включает в себя проведение диагностики компетенции на экспериментальной группе курсантов; обработку результатов диагностики в соответствии с эталоном; оформление отчета по результатам диагностики; корректировку оценочных средств с учетом полученных результатов.

6. *Диагностика компетенций и интерпретация ее результатов.* Этот этап включает в себя выявление уровня сформированности компетенции у диагностируемых курсантов; анализ результатов диагностики компетенции с выявлением положительных и отрицательных сторон обучения; распределение курсантов по уровням сформированности компетенции.

7. *Использование результатов диагностики компетенции в учебном процессе.* Этот этап включает в себя изменение форм представления учебного материала, форм и средств обучения в соответствии с выявленными недостатками обучения; составление рейтинга курсантов; разработку предложений по совершенствованию процесса подготовки курсантов и формированию профессиональных компетенций.

Разработанные научно-методические основы системного проектирования профессиональной подготовки выпускников высших военно-учебных заведений на основе компетентностного подхода позволят осуществлять целенаправленное и организованное конструирование образовательного пространства, направленного на гарантированное достижение запланированных результатов в соответствии с требованиями Вооруженных сил к качеству подготовки военных кадров.

### Список используемых источников

1. Жук О. Л. Педагогическая подготовка студентов: компетентностный подход. – Минск: РИВШ, 2009. – 336 с.

2. Сафонцев С.А., Попов С.В., Сафонцева Н.Ю. Квалиметрические измерения в процессе мониторинга структуры и содержания образовательных программ // Стандарты и мониторинг в образовании. – 2005. – №4. – С. 20–23.

Н.А. Репях,  
*кандидат философских наук;*  
А.Н. Хрустова

## **СОВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ**

Статья посвящена внедрению в процесс дополнительного профессионального образования современных образовательных технологий, влияющих на качество подготовки педагогических работников. Изложены современные технологии обучения, способствующие развитию профессиональных педагогических компетенций преподавателя высшей школы.

Ключевые слова: современные технологии обучения, компетентность педагогических работников, знаково-контекстное обучение, проблемное обучение, метод проектов, кейс-стади, деловая и ролевая игра, дискуссия, мозговой штурм, тренинг.

Система подготовки и повышения квалификации педагогических работников должна чутко реагировать на социальный заказ. Современное общество предъявляет особые требования к преподавателю высшей школы. Педагог прежде всего должен быть личностью, которой присущи широта взглядов, интерес и готовность к инновациям, чувство высокой ответственности за результаты своей деятельности. Во-вторых, это профессионал с глубокими знаниями, как в предметной области, так и в области образования, владеющий современными технологиями обучения. И, наконец, это воспитатель, которому доверено формирование личности гражданина. Реализация такой модели педагога сегодня представляется возможной в рамках компетентностного подхода.

Учитывая сохраняющуюся дискуссионность категориального аппарата рассматриваемой проблемы, авторы считают необходимым уточнить свои исходные методологические позиции. В первую очередь они связаны с категориями «компетенция» и «компетентность в контексте системы подготовки и повышения квалификации педагогических работников».

С психолого-педагогической точки зрения, компетентность – это уровень образованности специалиста, характеризующийся способностью и готовностью эффективно и мобильно решать проблемы в любых условиях профессиональной событийности. Анализ специальной литературы позволяет установить, что компетентность, являясь интегральной характеристикой личности специалиста как субъекта профессиональной деятельности, структурирована. Элементами этой структуры выступают компетенции. Компетенция как понятие пришло в Россию из англосаксонской традиции образования. Большинство дефиниций компетенций основывается на двух общих позициях: компетенции как единство теоретического знания и практической деятельности; компетенции как наиболее общий язык для описания результатов образования. Отражение второй позиции по аспекту содержания подготовки педагогических кадров находится в области образовательных стандартов нового (компетентностного) поколения. Соответственно актуализируется необходимость определения образовательных подходов реализации содержания компетентностно-ориентированного образования.

Среди образовательных технологий наиболее адекватными для решения задач подготовки и повышения квалификации, на наш взгляд, представляются знаково-контекстное обучение и проблемное обучение («кейс-стади», обучение методом проектов).

В педагогической литературе достаточно полно отражены технологические характеристики образовательных технологий. Вместе с тем авторам кажется актуальной задача выяснения

их собственно компетентностного потенциала в системе подготовки и повышения квалификации педагогических работников. При этом представляется полезным анализ практического опыта реализации современных образовательных технологий на кафедре послевузовского и дополнительного профессионального образования научно-педагогических кадров военных вузов.

Обобщающей теоретической платформой различных, ранее разрозненных методик активизации обучения путем приближения к будущей профессиональной деятельности обучающегося претендует стать концепция контекстного обучения. И эта претензия вполне обоснованна, поскольку в действительности общей основой этих методик является их профессиональный контекст.

*Модель знаково-контекстного обучения* была предложена А.А. Вербицким. Формирование профессиональной компетентности задается целью профессиональной подготовки специалиста. Содержание учебной деятельности обучающегося в контекстном обучении отбрасывается не только в логику науки, но и через модель специалиста – в логику профессиональной педагогической деятельности, что придает целостность, системность и личностную значимость усваиваемым знаниям. Хорошо известно, что содержание и условия профессиональной деятельности всегда вероятностны, проблемны, поэтому основной единицей в системе подготовки научно-педагогических кадров при контекстном подходе является проблемная ситуация, предполагающая включение механизмов рефлексии и творческого мышления для ее разрешения в процессе обучения.

Концепция контекстного обучения лежит в русле деятельностной теории передачи и усвоения педагогического опыта, которая в наибольшей мере способна объяснять и прогнозировать процессы перестройки в сфере профессионально ориентированного образования. Посредством активной «пристрастной» деятельности осуществляется присвоение социального опыта, развитие психических функций и способностей специалиста, систем его отношений с объективным миром, другими людьми и самим собой.

Выделяют три базовые формы деятельности обучающихся и некоторое множество переходных от одной базовой формы к другой. К базовым отнесены:

1. Учебная деятельность академического типа (собственно учебная деятельность) с ведущей ролью лекции и семинара.
2. Квазипрофессиональная (деловые игры и другие игровые формы) деятельность.
3. Учебно-профессиональная (практика, «реальное» дипломное проектирование) деятельность.

В качестве переходных от одной базовой формы к другой выступают все остальные формы обучения: практические занятия; имитационное моделирование; анализ конкретных ситуаций; разыгрывание ролей и т. п.

В своем системном качестве все перечисленное составляет технологию контекстного обучения. Качественно адекватности обладает не какая-то отдельно взятая форма организации деятельности обучающихся, а вся совокупность форм (традиционных и новых, в которых знания выполняют функции ориентировочной основы профессиональной деятельности, а формы – функции организации учебной работы обучающихся) воссоздания усваиваемого содержания в рамках профессионально значимых проблем и задач.

Содержание лекции, как одного из основных видов учебных занятий, реализуется в системе различных по типу и структуре лекций. Опираясь на концепцию контекстного обучения, можно выделить следующие типы лекций: контекстно-информационная; контекстно-научная; контекстно-профессиональная; лекция с заранее запланированным контекстом профессиональных ошибок.

Контекстно-информационная лекция выстраивается в логике перехода от одной практической ситуации к другой (не обязательно из сферы профессиональной деятельности) при постановке и показе разных способов разрешения поставленной перед аудиторией проблемы практического плана в рамках читаемого курса. Чтение такой лекции сопровождается описа-

нием, показом или визуальной демонстрацией таких педагогических ситуаций, объяснением причин и источников возникновения такого рода ситуаций, сравнительным анализом используемых средств, методов и технологий с опорой на результаты специальных научных исследований и инновационный опыт специалистов.

У обучающихся может складываться потребительское отношение к науке и научным достижениям благодаря доминированию хронологического отражения развития той или иной научной отрасли на уровне общей культуры. Чтобы приобщить их к пониманию научного открытия, научным методам, процедурам и используют лекции, которые условно можно отнести к разряду контекстно-научных. Контекстно-научная лекция строится в логике раскрытия научных фактов при анализе методов и результатов специальных исследований и проводимых экспериментов, а также непосредственного включения обучающихся в моменты проведения экспериментов, демонстрируемых на лекции. Благодаря таким лекциям обучающийся не только приобщается к результатам научного поиска и расширяет научно-информационное поле, учится анализировать и структурировать научную информацию под руководством преподавателя, но и расширяет представление о значимости науки и научных исследований для совершенствования своей педагогической деятельности.

В связи с тем, что возрастает требование к разносторонней и глубокой профессиональной подготовке преподавателей высшей школы, у обучающихся важно развивать способность свободно ориентироваться в информационно-профессиональном пространстве и понимать условия обеспечения успеха в профессии. Этому способствуют контекстно-профессиональные лекции. Технология проектирования и чтения контекстно-профессиональной лекции отражает логику появления проблемных ситуаций в сфере профессиональной педагогической деятельности и применения самых эффективных методов или технологий их разрешения с опорой на накопленный педагогический опыт и (или) научные разработки.

Известно, что критически осмыслить свое собственное понимание можно только в том случае, если взглянуть на него со стороны. Для того чтобы вывести педагога на новый уровень понимания специфики и трудностей в профессии и способствовать развитию рефлексии (личностной, научной, профессиональной), используют лекции с заранее запланированными ошибками. Осознание своего незнания или осознание заблуждения в отношении проблем, с которыми сталкивается педагог в решении профессиональных задач, для обучающегося является «толчком» к переходу понимания важности своей подготовки на новый уровень. Лекция с заранее запланированным контекстом профессиональных ошибок выстраивается в логике появления типичных ошибок преподавателей высшей школы на первых этапах самостоятельной профессиональной деятельности и с привлечением самих обучающихся к объяснению причин их возникновения и поиску путей преодоления. С их помощью преподаватель формирует у обучающихся коллективное понимание не только специфики, но и сложности педагогической деятельности.

Компетентностный потенциал данной образовательной технологии состоит в том, что при ее реализации удастся уйти от чрезмерной абстракции, избыточного формализма в содержании образования, обеспечивается системное применение академического знания для решения педагогических проблем, отражающих специфику профессиональной деятельности, создаются условия для совместного, коллективного труда. В целом при реализации технологии знаково-контекстного обучения происходит моделирование и реализация образовательного процесса на основе проблематизации содержания образования в контексте смыслов профессиональной педагогической деятельности. Обучающийся при этом занимает активную образовательную позицию, при которой происходит присвоение профессионально важных (интегральных) умений, составляющих основу компетенций преподавателя высшей школы.

Под *проблемным обучением* сегодня понимается такая организация учебных занятий, которая предполагает создание проблемных ситуаций и активную самостоятельную деятель-

ность обучающихся по их разрешению, в результате чего и происходит творческое овладение профессиональными знаниями, навыками, умениями и развитие мыслительных способностей. Проблемное обучение предполагает реализацию нескольких этапов: осознание проблемной ситуации; формулировка проблемы на основе анализа ситуации; решение проблемы, включающее выдвижение, смену и проверку гипотез; проверка решения. Этот процесс разворачивается по аналогии с прохождением трех фаз мыслительного акта. Поэтому проблемное обучение основывается на аналитико-синтетической деятельности обучающихся, реализуемой в рассуждении, размышлении. Проблемное обучение – эвристический, исследовательский тип обучения с большим развивающим потенциалом.

Одной из технологий проблемного обучения является *метод проектов*. Метод проектов является образовательной технологией, основанной на принципах проблемности, субъективности, коллективной рефлексии и продуктивности. В основе метода проектов лежит развитие познавательных навыков обучающихся, критического мышления, умения самостоятельно конструировать свои знания. Метод проектов ориентирован на самостоятельную деятельность обучающихся – индивидуальную, парную или групповую, которую они выполняют в течение определенного отрезка времени. Данный метод всегда предполагает решение определенной педагогической проблемы, предусматривающей, с одной стороны, использование разнообразных методов, средств обучения, а с другой – интегрирование знаний, умений из различных областей психолого-педагогических наук. Результаты выполненных проектов должны быть, что называется, «осязаемыми», т. е. если это теоретическая проблема – конкретное ее решение, если практическая – конкретный результат, готовый к внедрению в педагогический процесс.

Таким образом, метод проектов – это такая организация совместной деятельности обучающихся и обучающихся, при которой целью является разработка проекта решения какой-либо педагогической проблемы. Реализация метода проектов предполагает сотрудничество обучающихся и обучающихся по обозначению актуальных педагогических проблем, их точной формулировке и разработке конкретных действий, направленных на разрешение. Это обеспечивает эффективное целеполагание, планирование, предвидение, прогнозирование, моделирование педагогического процесса, а также обуславливает развитие определенных личностных свойств будущих педагогов – креативности, поисковой активности, рефлексивности.

Специфика *технологии анализа ситуаций* заключается в том, что при проведении занятия в виде ситуационного упражнения можно достичь прогнозируемых результатов. Однако это возможно лишь при осуществлении взаимодействия с другими участниками, выполнении комплексных взаимосвязанных (дополняющих) вычислений, обсуждении различных точек зрения, подходов и аргументации собственной позиции. Именно работа в группе по анализу педагогической ситуации позволяет обучающимся усвоить знания и приобрести умения практически решать сложные задачи, рассматривать разнообразные возможности и подходы к решению возникающих проблем.

Включение обучающихся в активную деятельность позволяет развить практические компетенции – базовые умения, навыки и готовность к действию.

Основными целями технологии анализа ситуаций являются: развитие навыков анализа и критического мышления; соединение теории и практики; представление примеров принимаемых решений и их последствий; демонстрация различных позиций и точек зрения; формирование навыков оценки альтернативных вариантов в условиях неопределенности.

Помимо названных целей при применении анализа ситуаций формируются следующие метакомпетенции: обрабатываются коммуникативные навыки – точно выражать свои мысли, уметь слушать других, аргументированно высказывать точку зрения, подбирать контраргументацию и пр.; развиваются презентационные умения и навыки по представлению информации; вырабатывается уверенность в себе и в своих силах; формируются устойчивые навыки рационального поведения в условиях неполной информации при решении

комплексных проблем; формируются интерактивные умения, позволяющие эффективно взаимодействовать с другими обучающимися и принимать коллективные решения; осуществляются самооценка и на ее основе самокоррекция индивидуального стиля общения и поведения; приобретаются навыки педагогического сотрудничества; учатся учиться – самостоятельно отыскивать необходимые знания для решения ситуационной проблемы, усваивать алгоритмы психолого-педагогических решений; изменяется мотивация к обучению – обучающиеся, как правило, проявляют активность, немотивированную включенность в педагогическую деятельность и повышенный интерес к ней.

Кроме того, в процессе работы над ситуациями у обучающихся формируется конкурентоспособность, развивается персональная и коллективная ответственность, шлифуются личные ценности и установки, приобретаются навыки управления репутацией и формирования позитивного имиджа педагога высшей школы.

К технологии, активизирующей учебный процесс и построенной на анализе ситуаций, относится метод ситуационного обучения – кейс-стади. *Кейс-стади* (*case-study*, англ. case – случай) – это активная образовательная технология, в основе которой лежит метод обучения посредством анализа конкретных ситуаций. Методику работы по анализу конкретных ситуаций можно выстраивать в двух направлениях:

1. Ролевое разыгрывание конкретной педагогической ситуации. В таком случае изучение ситуации участниками происходит заранее, и занятие по ее анализу по сути представляет собой ролевую игру.

2. Коллективное обсуждение вариантов решения одной и той же педагогической ситуации (что существенно обогащает опыт обучающихся). В этом случае каждый имеет возможность ознакомиться с вариантами решения, послушать и обдумать множество их оценок, дополнений и изменений.

Основное предназначение кейс-технологий – обучать способам решения практико-ориентированных неструктурированных образовательных или научных проблем.

Специфика данной технологии состоит в создании кейса и разработке методики его использования в учебном процессе. Отличительная особенность кейс-метода – создание проблемной педагогической ситуации на основе фактов реальной жизни или профессиональной педагогической деятельности. Кейс существенно отличается от традиционных учебных задач и упражнений. Кейсы – события и ситуации из реальной жизни и практики конкретных людей – допускают множество решений и альтернативных путей их поиска.

Основными принципами представления информации в кейс-методах являются простота и доступность содержания, ясность мысли, точность фактов, высказываний и формулировок. При разработке кейса необходимо учитывать следующее: соответствие кейса цели его создания и применения в образовательных целях; актуальность и типичность отбираемых педагогических ситуаций или событий; уровень их сложности; наличие ярких примеров из каждого типа отбираемых событий и ситуаций; возможность определить и раскрыть потенциал таких ситуаций и их влияние на развитие аналитического мышления; дискуссионный характер обсуждения событий или способов решения педагогических задач; отбор педагогических ситуаций, допускающих разные варианты их решения.

На практике применяются так называемые живые и мертвые кейсы. К «мертвым» кейсам относятся те, в которых содержится вся необходимая для анализа информация. Для «оживления» кейса необходим поиск дополнительной информации. Это позволит кейсу развиваться и оставаться актуальным в решении образовательных проблем длительное время. В целом эта технология включает три этапа:

1. Индивидуальный анализ ситуации участниками образовательного процесса.
2. Работа в малой группе в режиме «брейнсторминга» по осуществлению дискуссии относительно версий решения проблемы.
3. Общегрупповое обсуждение проблемы и определение наиболее оптимального варианта ее решения.

Метод конкретной ситуации может использоваться при изучении любой дисциплины. Конкретная педагогическая ситуация не имеет четкого верного или неверного ответа, она выступает в качестве учебного материала, на основе которого обучающиеся учатся анализу, технике публичного выступления, дискутированию, умению обосновывать свою точку зрения, что развивает такие компетенции, как техника принятия решения, анализ и систематизация информации.

Инструментально реализация знаково-контекстного и проблемного обучения в системе подготовки и повышения квалификации педагогических работников может осуществляться через использование деловой игры, коллективного способа обучения и различных видов тренинга.

*Деловая игра* – это целенаправленно сконструированная модель реального педагогического процесса, имитирующая профессиональную педагогическую деятельность и направленная на формирование и закрепление профессиональных умений и навыков. Принципы учебных деловых игр таковы: целевая направленность; имитационное моделирование; творческий подход; сочетание коллективной и индивидуальной деятельности игроков; диалоговое общение игроков; соревновательность.

Учебная деловая игра характеризуется следующими типичными чертами: активизация мышления самой технологией учебного процесса; ориентация на формирование профессионально-образовательной мотивации обучающихся; стимуляция самостоятельного принятия обучающимися творческих, мотивационно оправданных решений; коллективная организация процесса обучения; повышение эффективности обучения не за счет увеличения объема информации, а благодаря глубине и скорости ее усвоения.

Деловую игру можно рассматривать как форму реализации таких образовательных технологий, как проблемное и знаково-контекстное обучение.

Деловая игра (ДИ), как и любая другая интерактивная технология, имеет как преимущества, так и ограничения. Во многих разработках ДИ не заложен механизм организации познавательной и мыслительной деятельности обучающихся, что провоцирует преподавателя использовать лишь собственный опыт и интуицию. И, к сожалению, не всегда результативно. Зачастую ДИ ставит обучающегося в условия надуманной ситуации, задаваемой имитационной моделью, и поэтому требует выполнения нереальных действий.

При внедрении ДИ трудности у преподавателей могут вызывать недостаточное описание игры, отсутствие развернутых характеристик ситуации, ролей, инструкций обучающимся, правил, системы оценивания. Слабое владение коммуникативной компетентностью как самих участников игры, так и преподавателя при столкновении интересов или мнений приводит к возникновению серьезных инцидентов, перерастающих в конфликтную ситуацию. Если сам преподаватель не владеет социально-психологической компетентностью, он не сможет эффективно управлять конфликтом. Тогда на игре возникает «антиэффект» – обучающиеся порождают и осваивают негативный опыт педагогического взаимодействия.

В то же время деловая игра как интенсивная интерактивная технология обладает несомненными достоинствами. ДИ позволяет в рамках кратковременного учебного процесса сместить акцент с системы знаний на систему навыков, умений, способов поведения, отношений, приемов творчества, т. е. на значимую деятельность для профессии педагога. ДИ воздействует на образ мышления и на позитивный подход к происходящим событиям у обучающихся, является не только инструментом игрового моделирования, но и методом педагогики для достижения образовательного результата. Эта двойственность определяет преимущества деловой игры как инструмента научения. Имитация ситуации педагогической деятельности осуществляется в реальном учебном процессе. Обучающийся анализирует, отбирает данные, ставит и решает задачи реально, и, следовательно, происходит освоение новой профессиональной информации и развитие умений. Деловая игра является коллективным методом обучения и развития, поэтому при выработке решений в группе и при анализе или критике решений других групп на ней отрабатываются навыки педагогического сотрудничества

и делового партнерства, формируются личностные и деловые умения и навыки, в частности у обучающихся развиваются базовые профессиональные и метакомпетентности.

Основными формами коллективного обучения в образовательных организациях могут выступать такие, как:

– групповые дискуссии: обсуждения, диспуты, дебаты, полемика и др.; конструктивный совместный поиск решений педагогических проблем: метод «мозгового штурма» («мозговой атаки»), синетика и др.;

– тренинг: микрообучение, психотренинг и др.; ролевые игры: деловые, организационно-деятельные, инновационные, коммуникативные и др.

Отметим диалогические формы коллективного обучения, получившие широкое применение в практике подготовки и повышения квалификации педагогических работников в нашей академии. Это прежде всего дискуссия и различные ее модификации. *Дискуссия* (от лат. *discussion* – рассмотрение, исследование) – обсуждение какого-либо проблемного, спорного вопроса на собрании, в печати, беседе. Близкими по смыслу понятиями выступают диспут (от лат. *disputare* – рассуждать, спорить) – публичный спор на какую-либо тему; диалог (от гр. *dialogos*) – разговор между двумя или несколькими лицами, переговоры, обмен мнениями.

Диалог есть обсуждение в группе достаточно противоречивой и даже спорной педагогической проблемы, это обмен индивидуальными точками зрения по поводу решаемой педагогической задачи, в результате чего образуется единое смысловое поле, позволяющее понять и саму проблему, и собеседников.

Простейшая дискуссионная форма – дискуссия по проблемному вопросу, проводимая в малой группе. При проведении таких дискуссий можно не особо сосредоточиваться на организационных вопросах. В роли катализатора и организатора дискуссии в этом случае выступает проблемный вопрос, заданный учебным пособием, преподавателем или обучающимся. Для активизации группового обсуждения преподаватель может предложить группе обсудить два различных способа решения проблемы, два противоположных оценочных суждения или использовать другие приемы создания проблемных ситуаций. Принципиально важным для учебной дискуссии представляется этап ее завершения, когда обучающиеся подводят итоги, отвечая на ряд дополнительных вопросов.

Какое новое знание получено в ходе дискуссии?

По каким позициям взгляды обучающихся совпадают в наибольшей степени?

По каким позициям обнаружено максимальное расхождение во взглядах?

Какие новые вопросы поставили перед собой обучающиеся?

Вопросы могут быть детализированы или сформулированы иным способом, но важно, чтобы дискуссия, проводимая в учебных целях, имела завершение, направленное на овладение обучающимися новыми образовательными или профессиональными компетенциями.

Естественно, каждый преподаватель будет самостоятельно конструировать дискуссионные ситуации и их организационное и технологическое воплощение в зависимости от личного опыта и предпочтений.

Приведем и другие дискуссионные формы, широко используемые в силу своей эффективности в системе подготовки и повышения квалификации педагогических работников.

*Открытые дискуссии* предусматривают постановку проблемы с последующим обсуждением без четкого выделения утверждающей и отрицающей стороны и с привлечением широкого круга участников, но здесь важно, чтобы определенное знакомство с предметом обсуждения имело место ранее, а также необходимо руководство дискуссией с тем, чтобы она носила конструктивный характер.

*Дискуссии в форме телевизионного ток-шоу* требуют от преподавателя особого умения направить дискуссию по существу вопросов, избегая «хождения по кругу», для чего необходимо предварительно предусмотреть как принципиальные основы, так и точки расхождения, столкновения мнений в рамках дискуссии.

Дискуссия может быть проведена в *письменной форме*. Это может быть стендовая форма проведения дискуссии. Можно назвать такие формы организации дискуссии (или ее отдельного этапа), как организация «стены гласности», на которой каждый обучающийся может написать свое мнение по любой теме, заданной или самостоятельно выбранной. Такая форма дискуссии созвучна современным диалогам, организуемым в сети Интернет.

Всякий диалог предполагает установление межличностного согласия, которого можно достигать в разных формах, например как согласие окончательное; относительно определенных путей, выработанных в дискуссии, но требующих дальнейшей доработки; с тем, что проблема оказалась для обучающихся слишком сложна.

Диалоговое общение развивает у обучающегося подлинно открытое мышление, позволяющее свободно выражать свое мнение и в то же время столь же открыто обсуждать смыслы, которые передаются ему другими обучающимися. Открытость – это важнейшее интеллектуально-личностное качество индивида, необходимое ему не только в образовательной деятельности, но и в самых разных сферах взаимодействия с людьми. Поэтому проектирование диалогического общения предполагает установку на открытость позиций, возможности разносторонней оценки, выражения собственной точки зрения.

Методика *проблемно-рефлексивного диалога* включает в себя два основных приема.

Первый связан с заданием проблемной педагогической ситуации с помощью логической задачи и организацией способов личностного и интеллектуально-рефлексивного ее осмысления в процессе поиска решения.

Второй – задание проблемной ситуации с помощью вопросов о творчестве, творческой личности, творческой задаче, творческом мышлении в решении творческих задач и провоцирование ее разрешения в процессе осмысления «разрыва» между потенциальными и реальными возможностями обучающегося. При этом основные усилия преподавателя направлены на обеспечение возможности максимального проявления обучающимся своей личности в ответах на вопросы или рассуждениях по поводу встречающихся противоречий, а также на развитие способности к самостоятельному решению проблемных ситуаций.

При разработке технологии целесообразно руководствоваться следующими принципами: диалогичность взаимодействия (отношения равенства и взаимопонимания между обучающимися); проблемный характер вопросов и заданий; рефлексия в ходе выполнения действий или высказывания суждений; личностная направленность образовательного процесса.

Достаточно эффективным в образовательном процессе может быть *брейнсторминг* («мозговой штурм»). Брейнсторминг обладает более высоким развивающим потенциалом, чем ролевая игра. Данная форма диалога предполагает расчленение обсуждаемой педагогической проблемы на две части, решение которых состоит из двух этапов.

На первом этапе диалог организуется по принципу плюрализма идей и подходов и «отсрочки» критики выдвигаемых идей, что обеспечивает целенаправленный коллективный поиск и стимулирует интеллектуальную свободу. На втором этапе выдвинутые идеи классифицируются и подвергаются рациональной критике. Роль преподавателя заключается в стимулировании поиска решения эвристическими вопросами.

Реализация требований компетентностного подхода в системе подготовки и повышения квалификации педагогических работников обусловила широкое применение в образовательном процессе *ролевых игр*. Игра обычно рассматривается как имитация реальной деятельности в условиях ситуаций, направленных на усвоение опыта, фиксированного в социально закреплённых способах осуществления предметных действий и общения.

Отличительными признаками развертывания ролевой игры являются распределение ролей и быстро меняющиеся игровые педагогические ситуации в ходе развертывания игрового сюжета, в которых оказывается обучающийся в ходе своего взаимодействия с другими при выполнении своей игровой роли, и столь же быстрое приспособление действия каждого игрока к изменениям ситуации.

Методика проведения практического занятия в форме игры требует выполнения следующих условий: учебная группа заранее информируется о форме проведения занятия, его теме и целях; учебная группа делится на подгруппы, определяются ведущие в каждой из них, распределяются роли; ведущие намечают круг вопросов, выявляют наиболее дискуссионные из них; для того чтобы активизировать группу, ведущие также могут играть разные роли; в оценке занятия преподаватель учитывает структуру дискуссии, ее эвристический эффект, качество выполнения роли.

Особое место в подготовке и повышении квалификации педагогических работников занимают *тренинги*. Наиболее широко они представлены на занятиях по академической риторике, технологии профессионально-ориентированного обучения, психологии и педагогике высшей военной школы.

Под *тренингами* понимают самостоятельную учебную технологию отработки (тренировки, «дрессуры») необходимых (дефицитных) умений через выполнение специальных заданий, реального проживания в учебном процессе специально заданных ситуаций. В тренинге обучающиеся имеют возможность не только развить или закрепить необходимые умения, но и изменить свое отношение к собственному опыту и применяемым в какой-либо деятельности подходам.

В зависимости от специфики формируемых умений тренинги умений могут быть самыми разными: тренинг умений принятия решений, тренинг умений контроля, тренинг коммуникативных умений, тренинг креативности, тренинг рефлексивных умений, тренинг умений публичной речи, тренинг умений эффективной самопрезентации, тренинг умений самоконтроля и самообладания и т. д.

В отличие от теоретических схем, предлагаемых в лекционных курсах, имеющих, как правило, мало вариантов, в процессе тренинга у обучающихся формируются наиболее продуктивные приемы и способы взаимодействия, основанные на индивидуальных особенностях человека и его коммуникативной компетентности. Высокая образовательная результативность тренинга определяется также тем, что тренинг, будучи построенным на моделировании реальных профессиональных ситуаций, требует от его участников активной включенности в процесс общения и мобилизации интеллектуального и аналитического потенциала.

При использовании разнообразных интерактивных технологий в процессе тренинга обычно предусматривается столкновение обучающихся с релевантными ситуациями (от англ. *relevant* – уместный, относящийся к делу), возникающими в их реальной профессиональной деятельности, но не разрешаемыми на основании использования стандартных, традиционно применяемых техник и тактик поведения. Это важно для поиска оптимальных путей разрешения ситуаций, выработки эффективного сценария делового взаимодействия.

Для научения и развития компетентностей в тренингах, реализуемых на кафедре, используются все интенсивные технологии, а именно: информация, сообщение, мини-лекция; структурированная и управляемая дискуссия; мозговой штурм; кейс-стади; ролевая игра и «разыгрывание» ситуаций в ролях; коммуникативные задачи и упражнения; презентация; аналитические упражнения; игры-стимуляции, имитационные игры; фрагменты деловых игр; видеодемонстрация и видеоанализ поведения обучающихся.

Обычно на тренинге используется трехуровневая модель обучения: приобретение → демонстрация → применение.

В рамках каждого элемента обозначенной модели используются вышеперечисленные методы.

Так, для приобретения знаний в тренинге используются информация, мини-лекция, сообщение, книги; для демонстрации – ролевые игры, кейс-стади, живые иллюстрации и видеофильмы; для применения – ролевые и деловые игры, моделирование. Зачастую в реальной практике преподаватели игнорируют третью часть обучения, однако это приводит к снижению его эффективности.

Приобретение собственного опыта является основой процесса познания во время тренинга. Компетентностный потенциал тренинга умений заложен в самой природе этой образовательной технологии. В зависимости от вида тренинга умений развиваются личностные свойства, установки, обеспечивающие формирование определенной компетенции обучающегося.

Однако следует иметь в виду, что использовать тренинги возможно лишь при условии высшего профессионализма.

Таким образом, представленные авторами в работе современные образовательные технологии призваны расширить компетентность обучающихся и преподавателей, показать многообразие возможностей и перспективы внедрения в систему обучения всего спектра образовательных технологий. Решение задачи подготовки в академии компетентных педагогических работников, систематического повышения их квалификации невозможно без их широкого использования в реальном педагогическом процессе.

### Список используемых источников

1. Педагогические технологии: учеб. пособие / М.В. Буланова-Топоркова, А.В. Духавнева и др. – Ростов н/Д: Изд. центр «МарТ»; Феникс, 2010. – 333 с.
2. Мухина С.А., Соловьева А.А. Современные инновационные технологии обучения. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 360 с.
3. Панина Т.С. Современные способы активизации обучения: учеб. пособие. – М.: Академия, 2008. – 176 с.
4. Панфилова А.П. Инновационные педагогические технологии: Активное обучение: учеб. пособие. – М.: Академия, 2011. – 192 с.
5. Сластенин В.А. Педагогика: учебник. – М.: Академия, 2012. – 608 с.
6. Бордовская Н.В. Современные образовательные технологии: учеб. пособие / под ред. Н.В. Бордовской. – М.: КНОРУС, 2011. – 432 с.

В.Н. Чепагин,  
кандидат техн. наук, доцент

## МИНИМИЗАЦИЯ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ В РАМКАХ ИНВЕРСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

Изложены основные принципы применения инверсной технологии обучения для минимизации непродуктивных затрат учебного времени, активизации учебной деятельности обучающихся, формирования заданных компетенций и диагностирования уровня их достижения.

Ключевые слова: минимизация, затраты, активизация, учебная деятельность, компетенция, диагностирование.

В современных условиях модернизации российского образования изменяются цели и задачи, стоящие перед преподавателями. Акцент переносится с «усвоения знаний» на формирование «компетенций».

В традиционных технологиях обучения преподавателю отводится роль источника информации, которую он сообщает обучающимся в процессе учебных занятий. А интеллектуальную обработку этой информации, превращение ее в знания и далее в компетенции они проводят самостоятельно, натываясь при этом на множество препятствий и совершая множество ошибок.

Традиционные технологии, несомненно, были оправданы в конце XIX – начале XX века, когда свои лекции читали Н.И. Пирогов (1810–1881), И.М. Сеченов (1829–1905), Д.И. Менделеев (1834–1907), Н.Е. Жуковский (1847–1921), А.Н. Крылов (1863–1945) и др. Лектор по крохам собирал учебный материал из различных источников, включал в него результаты своих научных исследований и читал лекцию, а студенты вели конспекты. В те времена это был самый доступный способ тиражирования учебного и научного материала. В наши дни задача лектора существенно изменилась, он должен из безграничного множества информации выбрать ее допустимый объем, т. е. провести отбор, структурирование, трансформацию и адаптацию учебного материала. Современные технические средства позволяют заблаговременно выдать обучающимся всю требуемую информацию и избавить их от необходимости записывать каждое слово лектора в конспект.

Система формирования ключевых компетенций должна быть направлена на формирование умений и навыков общения, умений и навыков действовать в социальных ситуациях; способность брать на себя ответственность; развитие навыков совместной деятельности, умения работать в команде, способности к саморазвитию и самообучению. Система должна способствовать воспитанию у обучающихся толерантности, способности жить с людьми других культур, языков, религий. Таким образом, происходит переориентация на гуманистический подход в обучении. Внедряются инновационные педагогические технологии, предусматривающие учет и развитие индивидуальных особенностей обучающихся. Современные образовательные технологии можно рассматривать как ключевое условие повышения качества образования, снижения нагрузки обучающихся, более эффективного использования учебного времени.

Важнейшей задачей преподавателя следует считать побуждение обучающихся к познанию. Что же такое познание?

«Знание, только тогда знание, когда оно приобретено усилием мысли, а не памятью» (Л.Н. Толстой). Понятие «знание» неразрывно связано с понятием «познание» [1]. Познание есть диалектический процесс отражения действительности в сознании людей, движение мысли от незнания к знанию, от неполного знания к полному. Таким образом, познание есть

процесс, а знание есть результат, результат интеллектуальной обработки информации человеком разумом.

В предлагаемой статье дается краткое описание инверсной технологии обучения, которая позволяет сократить непроизводительные затраты учебного времени и добиться требуемого дидактического результата. Название технологии происходит от французского *inversion* и от латинского *inversio*, что означает переворачивание, перестановка, изменение нормального положения элементов, расположение их в обратном порядке [2, 3].

Применительно к процессу обучения это означает изменение традиционного порядка следования дидактических воздействий на обучающихся.

Суть предлагаемой технологии заключается в том, что обучающимся выдается некоторый объем опорной информации, которую они должны освоить до начала лекции, а на лекции под руководством преподавателя проводится научный анализ этой информации. Так, например, обучающиеся заблаговременно осваивают заданный перечень новых понятий, а на занятии вместе с преподавателем объединяют их в суждения и выводят умозаключения. Таким образом, обучающиеся в индивидуальном порядке получают исходную информацию на электронном или бумажном носителе и самостоятельно осваивают ее. Интеллектуальная обработка информации производится в аудитории, а закрепление полученных знаний проводится самостоятельно путем выполнения специализированных домашних заданий. Такой подход позволяет широко использовать активные и интерактивные формы обучения.

К информации, предлагаемой обучающимся для самостоятельного освоения исходных понятий, предъявляются определенные требования.

**Первое требование.** Объем информации должен быть строго дозирован и не должен превышать предел, доступный для освоения за отведенный промежуток времени. Один из способов определения допустимого объема информации – это разделение его на простые категорические суждения. Назовем этот объем информации условным битом [4].

Рассмотрим пример. Задание: «Освоить второй закон Ньютона». Известно, что ускорение, с которым движется тело, прямо пропорционально силе, его вызывающей, и обратно пропорционально его массе:

$$a = F / m,$$

где  $a$  – ускорение;

$F$  – сила;

$m$  – масса тела.

Такое утверждение содержит два простых категорических суждения:

- ускорение тела прямо пропорционально силе, его вызывающей;
- ускорение тела обратно пропорционально его массе.

Таким образом, для освоения этого утверждения, объем которого составляет два условных бита, обучающемуся потребуется около трех минут. Однако для этого он должен владеть такими понятиями, как «ускорение», «сила» и «масса» (рис. 1).

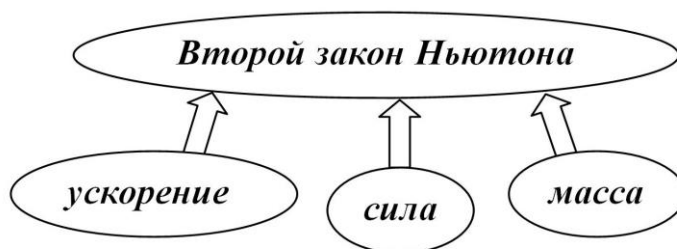


Рис. 1. Содержание понятия «второй закон Ньютона»

Ускорение – это векторная физическая величина, показывающая, насколько изменяется вектор скорости тела при его движении за единицу времени, производная скорости по времени.

Сила – векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на данное тело со стороны других тел или силовых полей.

Масса – скалярная физическая величина, являющаяся мерой инерционных и гравитационных свойств тела.

Для освоения названных понятий обучающийся должен владеть такими исходными понятиями, как «вектор», «физическая величина», «скорость», «мера», «поле», «скаляр», «инерция», «гравитация» (рис. 2–4).

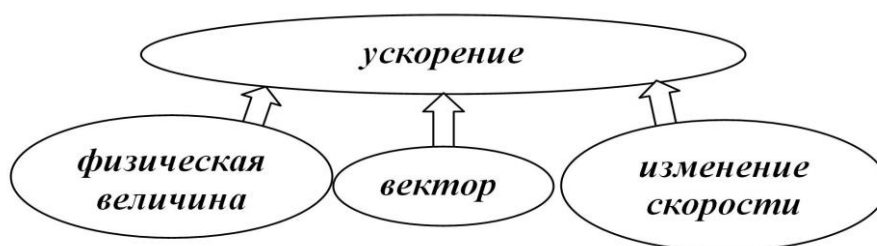


Рис. 2. Содержание понятия «ускорение»

Таким образом, ускорение – это физическая величина, это вектор и это изменение скорости. Три простых категорических суждения, три условных бита.

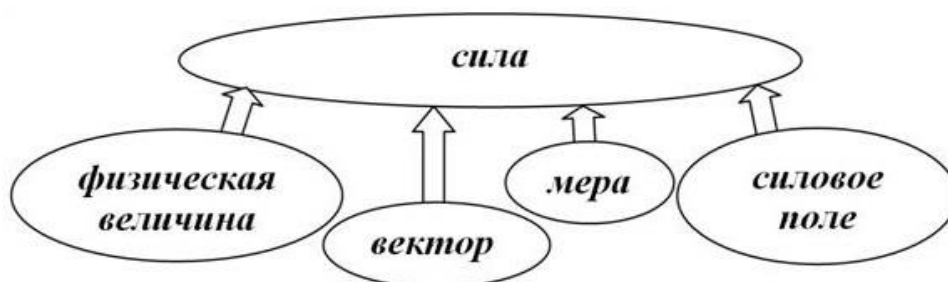


Рис. 3. Содержание понятия «сила»

Таким образом, сила – это физическая величина, это вектор, это мера, которая может порождаться механическим воздействием или силовым полем. Это четыре простых категорических суждения или четыре условных бита.

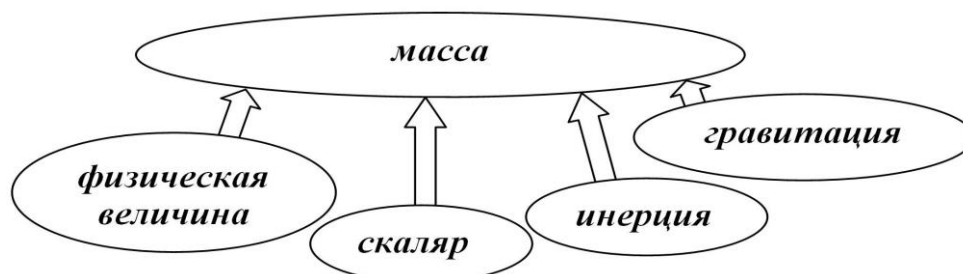


Рис. 4. Содержание понятия «масса»

Из рис. 4 следует, что масса – это физическая величина, это скаляр, она подчиняется закону инерции и подвержена влиянию гравитационного силового поля. Это четыре простых категорических суждения или четыре условных бита.

Раскроем содержание вновь названных понятий.

Физическая величина – физическое свойство материального объекта, физического явления, процесса, которое может быть охарактеризовано количественно.

Вектор – величина, характеризующаяся размером и направлением.

Скаляр – величина, каждое значение которой может быть выражено одним числом.

Скорость – векторная физическая величина, характеризующая быстроту перемещения и направления движения материальной точки в пространстве относительно выбранной системы отсчета.

Мера – то, с помощью чего измеряют, мерило.

Силовое поле в физике – это часть пространства, в каждой точке которого на пробную частицу действует определенная по своему значению и направлению сила (вектор силы).

Инерция – свойство тел сохранять покой или равномерное прямолинейное движение, если внешние воздействия на него отсутствуют или взаимно скомпенсированы.

Гравитация (притяжение, всемирное тяготение, тяготение) – универсальное фундаментальное взаимодействие между всеми материальными телами.

Назовем вышеприведенные понятия понятиями первого уровня.

Можно продолжить рассуждения, провести анализ приведенных определений, выделить существенные признаки и дать определения каждому из них. Однако остановимся на предположении, что всеми понятиями первого уровня обучающиеся уже владеют. В этом случае освоение понятия второго уровня – «ускорение» – потребует трех условных бит информации, а понятий «сила» и «масса» – четырех, в сумме – одиннадцати условных бит. Предварительные наблюдения показали, что в среднем малыми порциями (до 20 условных бит) обучающиеся способны самостоятельно освоить один условный бит информации (одно простое категорическое суждение) за одну минуту. При увеличении объема информации скорость освоения уменьшается. Это лишь приближенный способ первоначального расчета, результаты которого следует проверять экспериментально.

Таким образом, для освоения понятий «ускорение», «сила» и «масса» обучающимся потребуется 11 минут времени.

На занятии следует провести анализ понятий, освоенных самостоятельно и разъяснить обучающимся содержание второго закона Ньютона (третий уровень).

**Второе требование.** Информация для самостоятельного освоения исходных понятий должна подчиняться строгой структурно-логической зависимости. Из приведенного примера следует, что в первую очередь обучающиеся должны освоить понятия первого уровня, затем второго, а после этого можно приступить к основному содержанию – содержанию третьего уровня. При этом следует провести анализ понятий каждого уровня, поскольку между ними также может существовать структурно-логическая зависимость.

**Третье требование.** Для самостоятельного освоения следует назначать понятия одного уровня. В приведенном примере такими понятиями являются «ускорение», «сила» и «масса». В приведенных рассуждениях высказано предположение о том, что понятиями предыдущего уровня (вектор, скаляр, скорость и др.) обучающиеся уже владеют. Однако в раздаточном материале в качестве справочной информации следует привести определения этих понятий. При этом полезно также дать определения некоторых сопутствующих понятий. В приведенном примере это могут быть «материальный объект», «физическое явление», «система отсчета», «пробная частица», «свойство» и др.

Реализация инверсной технологии предполагает обязательное использование раздаточного материала. Прежде всего раздаточный материал должен избавить обучающихся от непроизводительных затрат времени. Для лекционных занятий наиболее полной и завершенной формой раздаточного материала является опорный конспект курса лекций.

Опорный конспект каждой лекции имеет одинаковую структуру и может включать в себя:

- учебную тему дисциплины;
- тему лекции;
- цель лекции;

- учебные вопросы лекции;
- литературу по теме лекции;
- задание на самостоятельную работу при подготовке к лекции;
- задание на самостоятельную работу по закреплению материала лекции;
- перечень контрольных вопросов;
- опорный материал содержательной части лекции.

**Учебная тема дисциплины, тема лекции, учебные вопросы и литература** формулируются в соответствии с тематическим планом изучения дисциплины. Цель каждой лекции формулируется в соответствии с уровнями обученности, заданными учебной программой. Цель лекции в опорном конспекте, в отличие от цели в плане проведения занятия, должна формулироваться для курсанта, а не для преподавателя (научить – научиться, разъяснить – осознать, привить знания – приобрести знания и т. п.).

**Задание на самостоятельную работу** делится на две части. В целях подготовки к лекции обучающиеся должны восстановить знания, приобретенные ранее (в том числе и в других учебных дисциплинах). Для этого используются восстанавливающие задания. Кроме того, они должны самостоятельно в упреждающем режиме освоить часть исходных понятий по теме лекции. С этой целью обучающимся предлагаются обеспечивающие задания. Цель этих заданий – подготовиться к восприятию новых знаний. После лекции обучающиеся должны как обязательную часть выполнить закрепляющее задание, а для наиболее подготовленных обучающихся следует подобрать задания повышенной сложности, которые выполняются по желанию – развивающие задания. Задания на самостоятельную работу, во-первых, должны быть конкретными. Обучающийся должен осознать суть задания и иметь возможность оценить результат его выполнения. Во-вторых, задание должно быть выполнимым, т. е. его объемом должен соответствовать времени, отведенному для его выполнения. И в-третьих, оно должно быть диагностируемым, т. е. преподаватель должен иметь возможность проверить и оценить результаты самостоятельной работы.

В проекте академической гимназии [5] в 1757 году М.В. Ломоносов писал: «Учителя обязаны приходить в классы вовремя и в начале каждого урока спрашивать гимназистов, знают ли они заданное, принесли ли с собой приготовленные уроки, и наказывать приватно тех, кто не выполнил положенного ему. Если в классе так много гимназистов, что спрашивать уроки у всех отняло бы слишком много времени, то учитель может вызвать кого-нибудь одного по своему выбору, причем каждый должен быть готов к тому, что его неожиданно спросят и ему нужно будет отвечать». Сегодня такой способ контроля называется выборочным контрольным опросом перед началом занятия. Этот способ противоречит главному принципу контроля знаний: «Единство проверки и упражнений». Это означает, что каждое выполненное упражнение (задание) должно быть проверено и оценено, а каждая оценка (отметка) должна выводиться на основе выполненного задания. Если не подвергать проверке и не оценивать какие-то задания, то это неминуемо приведет к снижению активности обучающихся. Это означает, что проверен и оценен должен быть каждый обучающийся. Возникает справедливый вопрос: «За счет какого бюджета времени проводить эту проверку?». Возможны два подхода к решению этой задачи. Один подход – применение известных способов ускоренного контроля с использованием ЭВМ, применение виртуальных и бумажных трафаретов и др. Другой подход подсказан М.В. Ломоносовым в том же проекте гимназии [5]: «Из числа лучших и исправнейших учеников своего класса учитель может выбрать себе в помощь аудиторов, которые спрашивают у других заданные уроки и указанным выше способом отмечают это в месячных табелях еще до прихода учителя. Последний должен сразу же просмотреть их записи, а нерадивых спросить и наказать». Очевидно, что аудитор должен проверить только сам факт выполнения задания, а качество выполнения все равно должен оценить учитель. И первый, и второй подходы предполагают, что выполненное задание обязательно должно найти свое отражение на свободном поле опорного конспекта.

Окончательная проверка (и выставление оценок преподавателем) может быть проведена в процессе ежемесячной проверки ведения конспектов обучающимися.

Вот уже более десяти лет в академии существует требование обязательной проверки преподавателями конспектов обучающихся. Не все преподаватели одинаково относятся к необходимости проверки конспектов, некоторые из них не видят в этом необходимости. Поэтому уместно еще раз вспомнить слова М.В. Ломоносова [5]: «Каждый гимназист обязан вести особые дневники для переписки набело своих сочинений, переводов и упражнений в том виде, как они были выполнены им самим и как были исправлены учителем, чтобы можно было судить и об его успехах и об усердии учителя».

**Перечень контрольных вопросов** должен быть сформулирован для каждой лекции и нацелен на возможность самоконтроля обучающегося. При этом он должен предполагать краткие ответы на поставленные вопросы. Материал для ответа должен быть сосредоточен в конспекте лекции, в ее опорной части или в записанном во время лекции тексте. Сложные, комплексные задания по учебной теме дисциплины должны быть сформулированы в приложении к опорному конспекту.

**Опорный материал содержательной части лекции** зависит от содержания учебной дисциплины и особенностей ее преподавания, и даже в рамках одной дисциплины он может быть различным для разных лекций. Опорный материал лекции должен обеспечивать максимальное сокращение непроизводительных затрат времени, избавить обучающихся от необходимости бездумного перерисовывания рисунков, чертежей, схем, таблиц, семейств графиков, временных диаграмм, систем координат и др. Следует всегда помнить непреложную истину: «Преподаватель может изображать рисунок и говорить одновременно. Обучающийся может делать только что-то одно». В большинстве случаев целесообразно использовать незаконченные рисунки и заготовки к ним. Завершение рисунков обучающиеся должны выполнить на лекции. Например, заготовка функциональной схемы может содержать только символическое изображение функциональных блоков, размещенных на поле рисунка. Обучающийся во время лекции добавляет текстовые надписи и изображает линии связи. Другой пример – заготовка рисунка может содержать символическое изображение земного шара со всеми присущими ему кругами, эллипсами и системами координат в виде направленных стрелок. Обучающийся добавляет текстовые пояснения (плоскость экватора, плоскость орбиты и т. д.), обозначает начало каждой системы координат и обозначение осей, углы между векторами, углы между плоскостями и др.

В целях напоминания ранее изученного материала в контексте лекции опорный конспект может содержать определения отдельных понятий, формулировки законов, теорем, постулатов, критериев, обозначения физических величин, значения общепринятых констант и др., а также справочный материал (такой, как выписка из таблицы интегралов, выписка из таблицы преобразований Лапласа и т. д.). В поле зрения обучающегося должна быть вся информация, требуемая для решения текущей задачи, и в тоже время не должно быть ничего лишнего. Тезисы «пусть будет», «не помешает», «на всякий случай» в данном случае неуместны и неприемлемы.

В зависимости от особенностей учебной дисциплины опорный конспект может содержать и другую информацию, направленную на минимизацию расхода учебного времени. При этом всегда следует помнить, что переизбыток сопутствующей информации может оказаться вреднее, чем ее недостаток.

Во всех случаях опорный конспект должен содержать свободное поле для ведения записей, выполнения текущих домашних заданий, рецензий преподавателя и др.

Опорный конспект лекций следует дополнить приложениями для методического обеспечения других видов учебных занятий. В частности, одно из приложений должно содержать задания на выполнение каждого практического занятия, методические указания по его выполнению, всю сопутствующую информацию для его выполнения и свободное поле, где будут отражаться материалы по подготовке к занятию и результаты его выполнения.

Другое приложение следует посвятить, например, лабораторным работам. Оно должно содержать задания на каждую лабораторную работу, методические указания по их выполнению, сопутствующую информацию, встроенный бланк отчета и свободное поле.

Третье приложение может быть посвящено семинарским занятиям. Оно должно содержать задания, методические указания, сопутствующие материалы и свободное поле, где обучающиеся отражают тезисы докладов по каждому вопросу.

Отдельное приложение следует посвятить занятиям на технике, в поле, на местности, результаты которых не фиксируются на бумаге, а сводятся к демонстрации выполнения упражнений, приемов, нормативов и т. д. В приложении должно быть свободное поле для краткой словесной оценки преподавателя.

Если учебной программой дисциплины предусмотрена учебная практика, то ей должно быть посвящено отдельное приложение. Оно должно содержать выписку из программы практики, а также место для записи индивидуального задания, место для дневника и место для отчета о практике.

Число и содержание таких приложений определяется структурой учебной дисциплины и авторским правом преподавателя.

Таким образом, полностью заполненный опорный конспект может служить своеобразным отчетом обучающегося о приобретенных знаниях, умениях, об овладении им требуемыми навыками и, наконец, о приобретении заданной компетенции, если это возможно в рамках рассматриваемой дисциплины. Личностные качества, продемонстрированные в процессе изучения дисциплины, должны быть словесно охарактеризованы преподавателем в заключительном отзыве.

### **Выводы.**

1. Инверсная технология обучения позволяет минимизировать непроизводительные затраты учебного времени и активизировать учебную деятельность обучающихся.

2. Главным отличительным признаком инверсной технологии обучения является тщательная, углубленная и всесторонняя подготовка обучающегося к каждому занятию.

Придя на лекцию, обучающийся должен знать законы, теоремы и другие положения из ранее изученных дисциплин, которые будут применены на лекции, а также некоторые основополагающие понятия и суждения данной дисциплины, из которых будут выводиться умозаключения.

Заходя в лабораторию, он должен четко представлять себе всю программу исследований, которые ему предстоит выполнить, объект исследования, исследовательскую аппаратуру, способы обработки результатов измерений и прогнозируемые результаты.

3. Инверсная технология обучения предполагает контроль и оценку действий обучающегося на каждом занятии, поэтому к каждому занятию он должен готовиться, как к контрольной работе, зачету или экзамену.

4. Инверсная технология обучения, как и любая другая, существует не сама по себе, а в тесном взаимодействии с такими известными технологиями, как репродуктивная технология, технология коллективного взаимодействия, технология программированного обучения, технология дистанционного обучения, проблемная технология и др. Инверсная технология обучения предоставляет неограниченные возможности для реализации интерактивной формы проведения занятий.

5. Методическую основу инверсной технологии обучения должен составлять раздаточный материал, который способствует сокращению непроизводительных затрат времени на всех видах учебных занятий. На лекционных занятиях целесообразно использовать титульный лист лекции (тема, цель, учебные вопросы, литература, контрольные вопросы, задание на самостоятельную работу), сложные рисунки (или заготовки к ним), в том числе схемы, диаграммы, графики, таблицы, а также справочный материал (выписки из справочников) и в ка-

честве напоминания изученные ранее законы, теоремы, постулаты и общепринятые константы, которые будут использованы в контексте лекции.

На других видах занятий раздаточный материал должен включать в себя задание, методические указания на его выполнение, справочный материал, бланк отчета о работе и другие необходимые материалы.

Все перечисленные материалы могут существовать автономно, но целесообразно сосредоточить их в одном переплете, т. е. придать им форму опорного конспекта.

Достоинства опорного конспекта:

- позволяет обучающемуся охватить всё содержание учебной дисциплины как единое целое;
- дает возможность преподавателю, входящему в дисциплину, охватить всё ее содержание и методику преподавания;
- позволяет широко использовать активные и интерактивные формы проведения занятий;
- дает возможность обучающемуся быстро восстановить материал пропущенного занятия;
- позволяет при необходимости применить дистанционную технологию обучения;
- позволяет накопить информацию для оценки качества освоения учебного материала с использованием балльно-рейтинговой или модульно-рейтинговой технологии;
- заверченный в процессе обучения опорный конспект может стать основой для диагностирования приобретенной компетенции.

### Список используемых источников

1. Гусев Д.А. Краткий курс логики: Искусство правильного мышления. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 190 с.
2. Крысин Л.П. Толковый словарь иностранных слов. – М.: Наука, 1998.
3. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. – М.: Наука, 1992.
4. Технологии профессионально-ориентированного обучения: учеб. пособие / Н.А. Репях, А.Н. Хрустова, В.Н. Чепагин, А.М. Шелудяков; под ред. профессора Н.С. Кужекина. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – 243 с.
5. Ломоносов М.В. История. Философия. Поэзия // Избранные произведения: соч. в 2-х томах. – М.: Наука, 1986. – Т.2.

А.И. Алтухов,  
кандидат техн. наук, доцент;  
В.В. Головина,  
кандидат техн. наук;  
В.Н. Калинин,  
доктор техн. наук, профессор

## ФОРМИРОВАНИЕ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ В ЦИКЛЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

Изложены основные направления работы профессорско-преподавательского состава кафедр по формированию компетенций в процессе изучения дисциплин математического и естественнонаучного цикла. Показаны роль и место этих дисциплин в процессе формирования выпускника в целом. Предложены критерии оценивания сформированности компетенций и формула, учитывающая как знаниевый аспект обучения, так и способности обучающегося применять полученные знания для решения прикладных задач и позволяющая формализовать результат оценивания компетенций.

Ключевые слова: компетенция, компетентность, пути формирования компетенций, критерии оценивания компетенций.

Основной целью высшего профессионального образования является подготовка квалифицированного, конкурентоспособного специалиста, свободно владеющего своей профессией и ориентирующегося в смежных областях деятельности, готового к постоянному профессиональному росту [1]. С учетом этих требований в 2011 году были разработаны, а в 2013 году – переработаны федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования. Особенность новых образовательных стандартов состоит в переходе от традиционного (знаниевого) подхода к компетентностному (деятельностному) подходу в содержании и организации образовательного процесса (рис. 1).

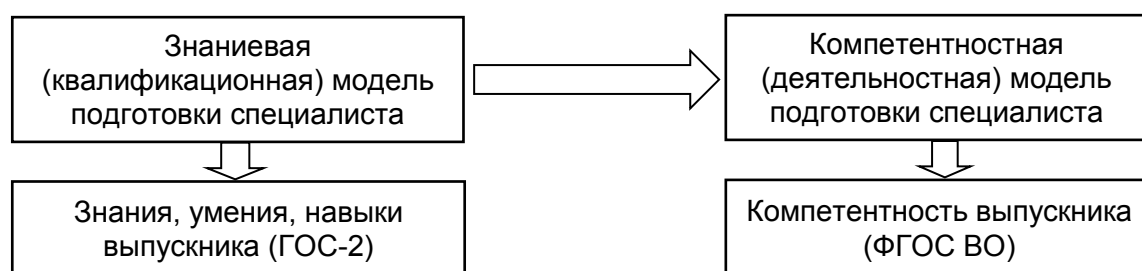


Рис. 1. Смена модели подготовки специалиста в вузах России

Ключевым понятием новой модели подготовки специалиста является понятие компетенции (рис. 2), одним из компонентов которого являются личностные качества выпускника.

По окончании вуза выпускник должен не только уверенно владеть знаниями, умениями и навыками по специальности, но и обладать такими личностными качествами, которые позволили бы ему успешно применять полученные знания при решении задач по предназначению в различных условиях обстановки, быть готовым действовать в ситуации неопределенности.

К личностным качествам следует отнести: психофизические особенности, нравственные качества и жизненные ценности курсанта, его мотивацию обучения, стремление к самообразованию, коммуникабельность, умение правильно принимать решения в нештатных ситуациях и готовность взять на себя ответственность за решение общей задачи и др. Важнейшим личностным качеством является психологическая устойчивость курсанта, уверенность в сво-

их силах и, как следствие, готовность выполнять задачи по предназначению. Заметим, что высокая психологическая устойчивость, уверенность в своих силах могут быть только при наличии хороших теоретических знаний и практических навыков их применения.

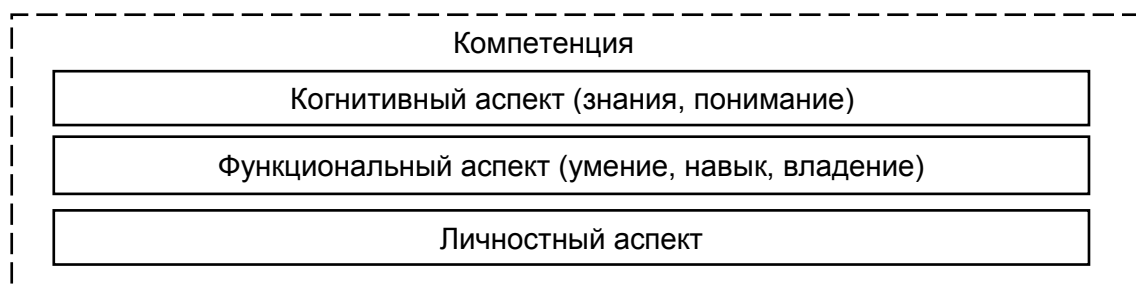


Рис. 2. Структура компетенции

Компетенции, формируемые при изучении дисциплин математического и естественнонаучного цикла, являются составным компонентом компетенций, формируемых у выпускника в процессе изучения дисциплин профессионального цикла. На рис. 3 приведена компетентностная модель выпускника академии. Компетенции выпускника формируют его компетентность – профессиональную пригодность.

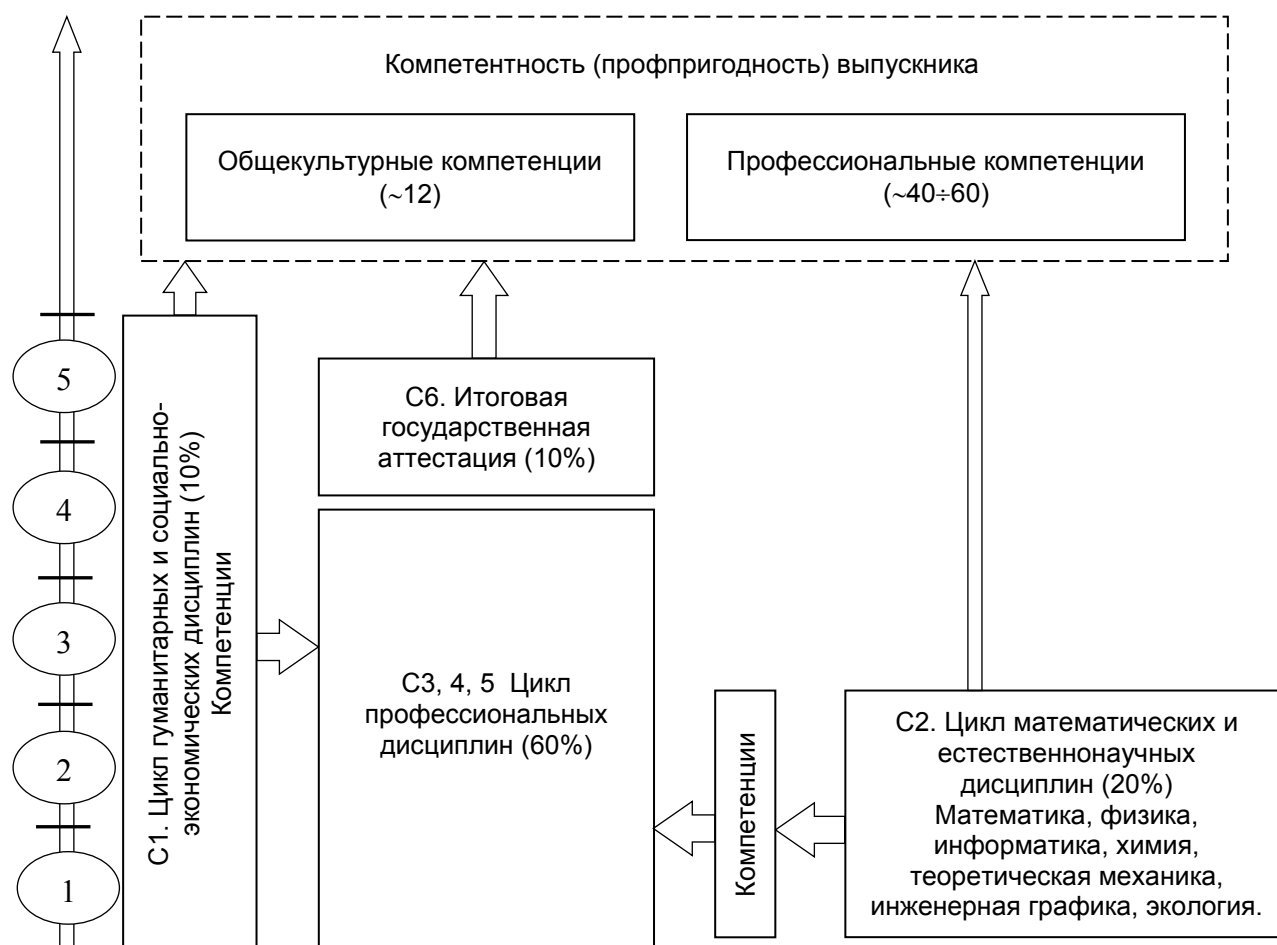


Рис. 3. Компетентностная модель выпускника академии

Выделим в приведенной на рисунке модели место физики в процессе формирования компетенций выпускника. Согласно учебной программе изучение курса физики направлено на формирование общекультурной (общенаучной) и профессиональных компетенций. Под общекультурной компетенцией будем понимать способность применять знания о современной физической картине мира, строении материи, пространственно-временных и причинно-следственных закономерностях протекания физических процессов для понимания окружающего мира и явлений природы. Эта компетенция является составным компонентом общекультурных компетенций выпускника. Профессиональных компетенций, которые формируются в процессе изучения курса физики, – две. Во-первых, это способность выявлять физическую сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, обоснованно выбирать адекватные физико-механические модели процессов и явлений, применять для их исследования математический аппарат современной физики. Во-вторых, это способность планировать и проводить простейшие физические эксперименты, оценивать точность и погрешность измерений, использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных, анализировать физический смысл полученных результатов. Эти две компетенции являются составными компонентами профессиональных компетенций, формируемых у выпускника дисциплинами профессионального цикла.

С учетом современных требований к содержанию и организации образовательного процесса работу по формированию компетенций в цикле математических и естественнонаучных дисциплин следует развивать по следующим направлениям. Во-первых, это совершенствование традиционной методики образовательного процесса с акцентом на формирование компетенций с учетом личностных качеств обучающихся. Для этого необходимо создать образовательную среду, способствующую творческой активности курсантов, стремлению их к самообразованию. Во-вторых, построение образовательного процесса с учетом требований выпускающих кафедр и развития технического прогресса к уровню компетенций в цикле математических и естественнонаучных дисциплин. Обеспечение дифференцированного подхода к организации практикума по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла [2]. В-третьих, расширение сферы внеаудиторных занятий с курсантами, совершенствование организационных форм этой работы (курсантские конструкторские бюро, военно-научная работа с курсантами, подготовка и участие в тематических олимпиадах, технических конкурсах, выставках и т. п.). В-четвертых, внедрение в учебный процесс современных дидактических информационно-коммуникационных технологий. Использование современных средств визуализации учебного материала, анимации физических процессов при проведении всех видов учебных занятий. Создание фрагментов системы дистанционного электронного обучения дисциплинам математического и естественнонаучного цикла (в рамках концепции электронного вуза). Широкое привлечение курсантов для решения этой задачи. В-пятых, создание и внедрение системы непрерывного оценивания сформированности компетенций обучающихся (входной, текущий, рубежный, промежуточный контроль, контроль остаточных знаний). В-шестых, повышение квалификации профессорско-преподавательского состава в области современной парадигмы высшего технического образования (учебно-методические объединения вузов, факультеты повышения квалификации, стажировки, обмен опытом и т. п.). В-седьмых, координация деятельности кафедр математического и естественнонаучного цикла в вопросах формирования компетенций.

Важным компонентом учебного процесса является не только формирование компетенций, но и оценивание их сформированности. Оценивание компетенций выполняет две функции. Во-первых, это непосредственное оценивание способности и готовности курсанта к применению полученных знаний по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла для успешного изучения дисциплин профессионального цикла. Во-вторых, оценивание компетенций выполняет функцию корректировки учебных программ и учебного процесса в целом с учетом требований выпускающих кафедр, темпов развития технического прогресса.

Уровень сформированности компетенций является латентным (скрытым) параметром и непосредственно измерен быть не может. Традиционно знания курсанта оценивались на уровне кафедры по результатам зачетных мероприятий. Для более объективного оценивания подготовленности курсантов по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла видится целесообразным выделить два этапа. Первый этап (традиционный) – оценивание профессорско-преподавательским составом кафедры способностей курсантов применять полученные теоретические знания для решения практических задач. Второй этап – оценивание профессорско-преподавательским составом выпускающей кафедры умения курсантов применять полученные знания при изучении дисциплин профессионального цикла (рис. 4). По результатам оценивания сформированности компетенций при необходимости могут быть внесены изменения в учебные программы дисциплин математического и естественнонаучного цикла.

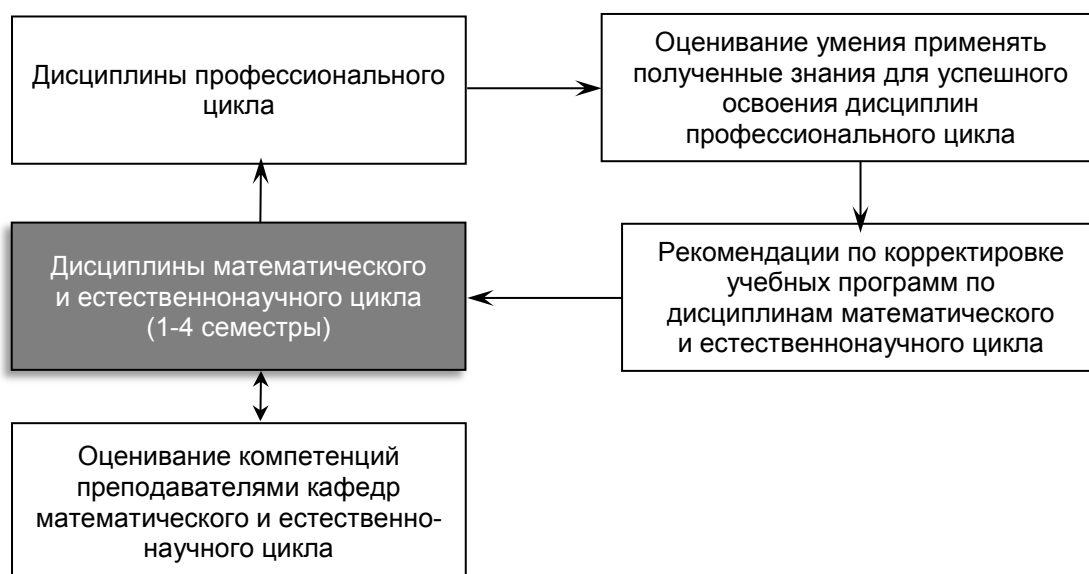


Рис. 4. Схема оценивания компетенций по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла

Инструментом оценивания подготовленности курсантов служит комплекс оценочных средств, включающий несколько критериев оценивания компетенций (рис. 5).

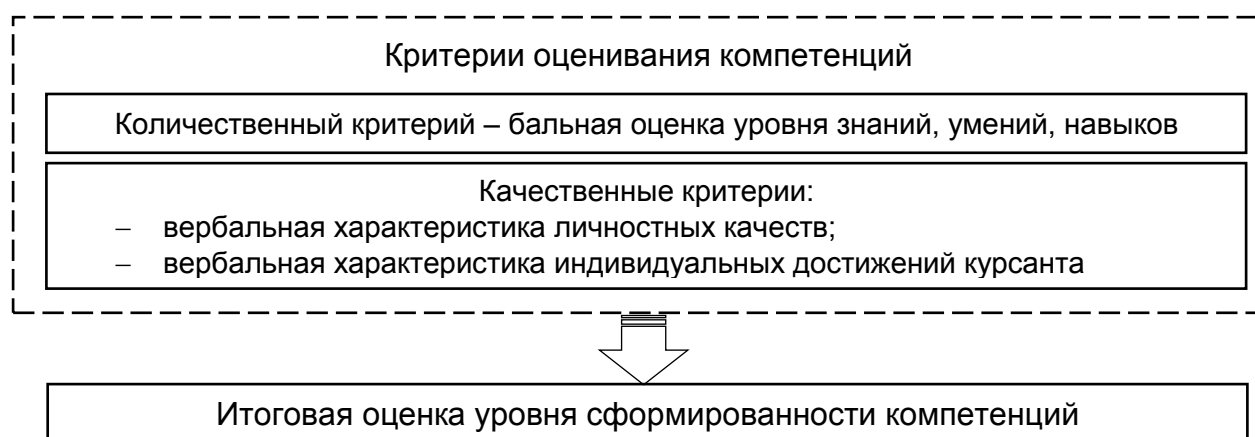


Рис. 5. Комплекс оценочных средств

Знания, умения, навыки оцениваются традиционно с помощью количественного критерия по принятой бальной шкале ( $x=2, 3, 4, 5$ ). Здесь оценивается соответствие уровня приобретенных знаний требованиям учебной программы. Такой контроль включает: входной и текущий контроль, контроль по результатам изучения модуля дисциплин, промежуточный контроль (зачет, экзамен). Результатом оценивания является итоговая оценка по дисциплине.

Для оценивания личностных качеств и индивидуальных достижений используются качественные критерии (см. рис. 5): критерий, характеризующий личностные качества курсантов и критерий, характеризующий их индивидуальные достижения. Следует отметить, что индивидуальные достижения курсанта являются следствием его личностных качеств.

Личностные качества обучающегося оцениваются путем педагогического наблюдения. Системой оценивания может быть трехбалльная шкала ( $z=0, 1, 2$ ):

0 – средние личностные качества (удовлетворительная мотивация обучения, слабая теоретическая и практическая подготовка и, как следствие, неуверенность в решении задач, отсутствие лидерских качеств и т. п.);

1 – личностные качества выше средних (высокие нравственные качества, недостаточная уверенность при решении поставленных задач, умение работать в коллективе и др.);

2 – высокие личностные качества (высокие нравственные качества, хорошо развитые лидерские качества, уверенность при решении поставленных задач, готовность взять на себя инициативу и аргументированно отстаивать свое мнение при решении поставленной задачи и др.).

Проявлением личностных качеств курсанта является его активная жизненная позиция, а также индивидуальные достижения в военно-научном обществе, в участии в олимпиадах и в целом по результатам обучения дисциплинам математического и естественнонаучного цикла. К индивидуальным достижениям в военно-научном обществе относятся: подготовка в соавторстве с руководителем научных статей и докладов, подача заявок на изобретения, разработка программных продуктов по тематике учебной дисциплины, подготовка экспонатов на выставки научно-технического творчества молодежи, выставки изобретений и инновационных технологий и др.

Индивидуальные творческие достижения обучающегося оцениваются на заседании кафедры. Системой оценивания также может быть трехбалльная шкала ( $y=0, 1, 2$ ): 0 – низкие индивидуальные достижения; 1 – средние индивидуальные достижения; 2 – высокие индивидуальные достижения.

Оценка уровня сформированности компетенций, включая количественный и качественный критерии оценивания, может быть определена по следующей формуле:

$$R = a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z.$$

Здесь  $a=16$ ,  $b=5$ ,  $c=5$ ;  $R_{max}=100$ . Результаты количественной оценки:  $80 < R \leq 100$  – высокий уровень;  $60 \leq R \leq 80$  – уровень выше среднего;  $R < 60$  – средний уровень [3].

Результаты оценивания компетенций по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла могут быть использованы при оценивании компетенций по специальности в целом. Значимость или весовой коэффициент компетенций по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла определяются экспертами выпускающих кафедр.

### Список используемых источников

1. Глобализация образования: компетенции и системы кредитов /под общ. ред. профессора Ю.Б. Рубина. – М.: Маркет ДС Корпорейшн, 2005. – 490 с.

2. *Хохлова М.В.* К вопросу повышения качества фундаментальной подготовки военных инженеров // Материалы межвузовской научно-технической конференции «Современное состояние военно-морского образования в свете требований федеральных законов об образовании». – СПб., 2003. – С. 85–88.

3. *Калинин В.Н.* О критериях оценки профессорско-преподавательского состава кафедры в области учебной, воспитательной, методической и научной работы // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – Вып. № 627. – С.183–187.

А.В. Попов;  
И.В. Шукшин,  
*кандидат педагогических наук;*  
А.В. Стафеев,  
*кандидат педагогических наук*

## **СЫГРАННОСТЬ ИГРОКОВ МИНИ-ФУТБОЛЬНЫХ КОМАНД ВУЗОВ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ СОВМЕСТИМОСТИ И ИГРОВЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ**

В статье приведено описание методик изучения сыгранности, компонентов игровых взаимодействий и совместимости игроков мини-футбольных команд вузов Министерства обороны Российской Федерации. Отражен характер взаимосвязей между этими тремя явлениями, показано, какое влияние они оказывают на индивидуальную результативность и успешность выступлений мини-футбольных команд. Кроме того, приводятся данные, показывающие влияние корреляционных взаимосвязей показателей эффективности игровых взаимодействий, совместимости и сыгранности футболистов.

Ключевые слова: игровые взаимодействия, совместимость, сыгранность, эффективность игровых взаимодействий, факторы сыгранности.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Как известно, сыгранность игроков команды в мини-футболе оказывает значительное влияние как на показатели индивидуальной результативности футболистов, так и на повышение успешности выступлений команды в целом. Каковы состав показателей игровой деятельности и факторы сыгранности футболистов, такие как совместимость игроков и компоненты игровых взаимодействий [4]?

Без ответов на поставленные вопросы трудно разработать средства повышения сыгранности игроков команд в мини-футболе.

### **ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследовались шесть команд, принимавших участие в Спартакиаде вузов Министерства обороны Российской Федерации по мини-футболу. В качестве испытуемых выступили 54 игрока этих команд.

Физическая совместимость рассчитывалась как усредненный коэффициент ранговой корреляции индивидуальных и групповых показателей физических тестов [ведение мяча между стойками на различной скорости, бег 30 м с места, прыжок в длину с места толчком двух ног, челночный бег 3×30 м, тест Купера (12-минутный бег)]. Для определения ее выраженности можно воспользоваться общей классификацией коэффициентов корреляции по силе [2].

Для определения личностной совместимости использовалась модифицированная методика Ю.В. Макарова (1998) «Групповое единство» (размерность шкалы – от -1 до +1) [3].

Оценка межличностной совместимости футболистов определялась с помощью модифицированной методики Сишора. Методика состоит из пяти вопросов с несколькими вариантами ответов на каждый. Ответы кодируются в баллах согласно приведенным в скобках значениям. Суммарный балл показывает оценку спортсменом социально-психологического климата в команде, (максимальная сумма: 19 баллов, минимальная: 5 баллов).

Для измерения уровня совместимости в деятельности применялась экспериментальная методика И.В. Герасимова (1999) «Гомеостат» [1]. Совместимость группы на деятельностном уровне как способность к совершению слаженных групповых моторных действий измеряется посредством замера времени, необходимого для решения совместной задачи. Такая задача заключалась в одновременном «выбросе» на руках одинакового числа пальцев по сигналу экспериментатора. Среднее время, необходимое для достижения моторно-двигательного единства в командах, составило чуть более двух минут.

Эффективность игровых взаимодействий футболистов определялась с помощью методик экспертных оценок, где эксперты – тренеры высокой квалификации по видеозаписи игр оценивали эффективность взаимодействий каждого футболиста с другими игроками. Использовались показатели результативности (значимости для дальнейшего развития игровой ситуации) и скорости (темпа, быстроты реагирования, интенсивности взаимодействия).

Эффективность игровых взаимодействий измерялась также с помощью шкальной анкеты «Субъективная оценка игровых взаимодействий», здесь испытуемые оценивали собственные взаимодействия с другими игроками.

Измерение сыгранности реализовывалось с помощью авторской экспериментальной методики, где пары игроков в течение пяти минут передавали мяч друг другу, двигаясь в различных направлениях и с различной скоростью по площадке. Эффективность игровых взаимодействий оценивалась по 10-балльной шкале экспертами-тренерами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Значения выраженности и вариативности индивидуальных показателей совместимости спортсменов со своей командой приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Показатели совместимости футболистов (n = 54).

Характеристики совместимости	М	σ	v
Физическая совместимость (баллы)	0,51	0,12	23,5
Личностная совместимость (баллы)	0,25	0,11	44,0
Межличностная совместимость (баллы)	8,40	3,06	36,4
Деятельностная совместимость (время, с)	124,9	32,3	25,9

Сходство игроков по физическим качествам выражено на среднем уровне. Полученный показатель отражает среднесильную связь.

Личностная совместимость (принятие личности другого, доброжелательность) выражена на умеренном уровне, несколько выше среднего. Команды подобраны из личностно совместимых игроков, в них нет серьезных разногласий, противоречий, непонимания и антипатий. Высокий коэффициент вариации говорит, что в командах могут наблюдаться эпизодические споры, непринятие отдельных личностных черт некоторых спортсменов, негативные оценки поступков, не приводящие к серьезному разладу в команде.

Межличностная совместимость футболистов выражена умеренно. Это отражает умеренно позитивное отношение спортсменов к членам своей команды, достаточное для осуществления совместной деятельности. Спортсмены удовлетворены межличностным взаимодействием в команде. Футболисты оценивают атмосферу в команде как подходящую. Они осознают, что в команде могут происходить конфликты и разногласия, но это не мешает совместной деятельности.

На умеренном уровне также находится и показатель деятельностной совместимости, который отражает успешность выполнения согласованных действий футболистами. Это пока-

зывает средневысокую совместимость в мини-футбольных командах на уровне моторной активности.

Наибольшей вариативностью обладают показатели личностной и межличностной совместимости. Это означает, что в командах есть игроки, очень сходные с другими по личностным качествам, а также резко отличающиеся от группы по этим же характеристикам.

Игроки мини-футбольных команд вузов Министерства обороны Российской Федерации обладают средним уровнем сыгранности, то есть проявляют умение применять на практике освоенные ими технико-тактические действия, игровую ловкость, которая проявляется в согласованных и слаженных действиях участников команды.

Рассмотрим индивидуальные показатели эффективности игровых взаимодействий игроков мини-футбольных команд вузов Министерства обороны Российской Федерации (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели эффективности игровых взаимодействий футболистов (n = 54).**

Характеристики игровых взаимодействий	М	$\sigma$	v
Экспертная оценка	5,28	1,86	35,2
Самооценка	6,02	2,29	38,0
Сыгранность (баллы)	5,03	1,96	39,0

Приведенные в таблице данные показывают, что в целом игровые взаимодействия футболистов являются среднеэффективными. При этом наблюдается достаточно большой разброс индивидуальных показателей, то есть вклад отдельных футболистов в успешность взаимодействий является неодинаковым. Обращает на себя внимание тот факт, что средний показатель самооценки эффективности игровых взаимодействий выше, чем показатель экспертной оценки. Это означает, что футболисты завышают уровень собственных умений согласованно действовать друг с другом.

В то же время вариативность самооценочных показателей выше, чем экспертных, что свидетельствует о значительных индивидуальных различиях в способности футболистов оценивать свой вклад в общее командное и групповое взаимодействие в ходе матча.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что необходимо разрабатывать и внедрять педагогические средства, направленные на повышение эффективности игровых взаимодействий, развитие у футболистов способности анализировать и адекватно оценивать собственное поведение в игре.

Обнаружена высокая вариативность показателя сыгранности футболистов. Это означает, что в командах есть футболисты, которые способны к эффективному слаженному взаимодействию, и новые игроки, не обладающие достаточной сыгранностью с другими, также это свидетельствует о необходимости целенаправленной педагогической работы по ускорению формирования совместимых и сыгранных команд.

Обратимся к результатам корреляционного анализа, который дает возможность выявить характер взаимосвязей показателей совместимости и эффективности игровых взаимодействий участников команды друг с другом и того, как эти показатели влияют на сыгранность футболистов. Полученные результаты позволят ответить на один из важнейших вопросов данного исследования: являются ли совместимость и эффективность игровых взаимодействий факторами сыгранности футболистов, проявляемой во время официальных матчей.

Как видно из рис. 1, показатели совместимости, сыгранности и успешности игровых взаимодействий тесно взаимосвязаны.

Сыгранность футболистов (зависящая от индивидуальной успешности в матчах) тесно и непосредственно связана сразу с двумя показателями совместимости и с одним показателем эффективности игровых взаимодействий. Опосредованно с показателем сыгранности связаны оба показателя эффективности игровых взаимодействий и межличностная совместимость.

Лишь показатель личностной совместимости оказался «в стороне» от показателя сыгранности. Однако при столь высоких коэффициентах корреляции можно уверенно говорить, что получен симптомокомплекс спортивно-командных качеств футболистов.

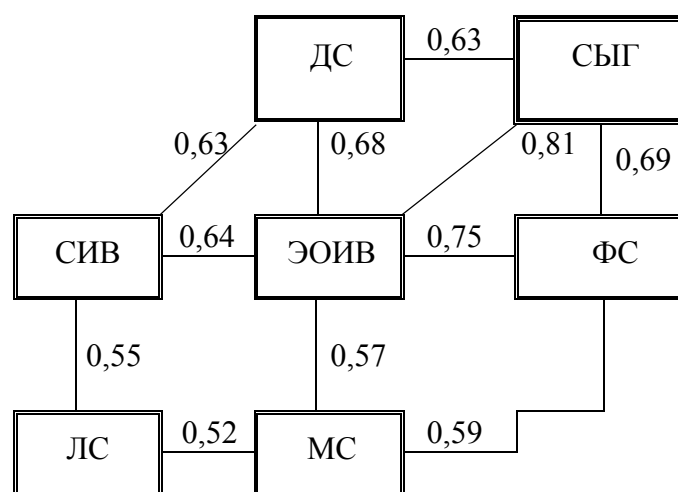


Рис. 1. Корреляционные взаимосвязи показателей эффективности игровых взаимодействий, совместимости и сыгранности футболистов ( $n = 54$ ; при  $p \leq 0,05$   $r \geq 0,21$ ; при  $p \leq 0,01$   $r \geq 0,28$ )

На рис. 1 приведены следующие условные обозначения: ЭОИВ – экспертная оценка эффективности игровых взаимодействий; СИБ – субъективная оценка эффективности игровых взаимодействий; ФС – физическая совместимость; ЛС – личностная совместимость; МС – межличностная совместимость; ДС – деятельностная совместимость; СЫГ – сыгранность.

Повышая игровые взаимодействия игроков, тренер тем самым повышает их сыгранность. На втором месте по силе влияния на сыгранность стоит физическая совместимость футболистов, которая свидетельствует об однородности развития их физических качеств. Наиболее сыгранными являются спортсмены со сходным уровнем развития ловкости, выносливости, скоростно-силовых качеств, необходимых для игры в футбол. Это объясняется тем, что успешные игровые взаимодействия базируются на исходном уровне физических способностей, обеспечивающих, в свою очередь, технико-тактическое мастерство футболистов. На третьем месте по силе влияния на сыгранность находится деятельностная совместимость, отражающая способность спортсменов к выполнению слаженных и согласованных совместных действий, успешному решению общих двигательных задач в процессе деятельности. Чем выше совместимость игроков на деятельностном уровне, тем более сыгранными будут игроки.

Предполагается, что физическая и деятельностная совместимость, а также эффективность игровых взаимодействий являются факторами сыгранности футболистов. Однако возможно и обратное влияние. Что на самом деле является фактором, а что переменной может показать регрессионный анализ. Попытаемся объяснить эти три коэффициента корреляции. Для этого использовалась формула П.Ф. Рокицкого (1973):

$$R_{x/y} = r \times \sigma_x / \sigma_y [5],$$

где  $R_{x/y}$  – коэффициенты регрессии, отражающей зависимость ряда показателей  $x$  от ряда показателей  $y$ , в данном случае – учебная успеваемость студентов от их профессионального самоопределения;

$r$  – коэффициент корреляции;

$\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение ряда показателей  $x$ ;

$\sigma_y$  – среднее квадратическое отклонение ряда показателей  $y$ .

Для проведения регрессионного анализа «сырые» данные всех четырех показателей были переведены в стэны с десятичной разрядностью (в таком случае изменились и показатели стандартного отклонения, физическая совместимость равна 7,51; а стандартное отклонение – 1,765).

При рассмотрении коэффициента корреляции показателей физической совместимости и сыгранности спортсменов были получены два коэффициента регрессии:

$$R_{x/y} = 0,62; \quad R_{y/x} = 0,77.$$

Коэффициенты регрессии достоверно не отличаются, поэтому можно сделать вывод о том, что оба показателя взаимно обуславливают друг друга. Подобным образом получены коэффициенты регрессии в отношении двух других пар показателей.

Коэффициент деятельности совместимости – 6,95; коэффициенты регрессии сыгранности составляют:  $R_{x/y} = 0,87$ ;  $R_{y/x} = 0,46$ . Значение первого коэффициента почти в два раза превышает значение второго. Это говорит о влиянии деятельности совместимости (вне футбола) на игровую сыгранность.

Игровые взаимодействия (по оценке экспертов) – сыгранность  $R_{x/y} = 0,77$ ;  $R_{y/x} = 0,85$ . Оба показателя взаимно обуславливают друг друга.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) физическая и межличностная совместимости выражены на средневысоком уровне, а личностная (при высокой вариации) и деятельностьная – на среднем;
- 2) футболисты в командах обладают средним уровнем сыгранности (при высокой вариации), а игровые взаимодействия футболистов являются среднеэффективными (а по их самооценке – высокими). Обнаружен большой разброс индивидуальных показателей взаимодействия игроков;
- 3) сыгранность футболистов (зависящая от индивидуальной результативности) тесно и непосредственно связана с физической и деятельной совместимостью, а также с эффективностью взаимодействий. При этом обнаружено лишь одно однонаправленное влияние: деятельностьная совместимость оказывает влияние на игровую сыгранность.

## Список использованных источников

1. Герасимова И.В. Психические состояния: методические рекомендации. – Владивосток: ДГМА им. Г.И. Невельского, 1999. – 63 с.
2. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Основы биометрии: введение в статистический анализ биологических явлений и процессов – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 1992. – 164 с.
3. Макаров Ю.В. Социально-психологический тренинг как средство формирования групповой сплоченности: диссертация кандидата психологических наук. – СПб., 1998. – 179 с.
4. Попов А.В. Влияние свойств личности футболистов на характеристики совместимости, сыгранности и эффективности игрового взаимодействия // Культура физическая и здоровье. – 2013. – № 1 (43). – С. 36–39.
5. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. – Минск: Высшая школа, 1973. – 320 с.

Б.И. Просенков,  
*кандидат техн. наук, доцент*

## **ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ КУРСАНТОВ В ХОДЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Проведен анализ взглядов преподавателей кафедр инженерной графики технических вузов по вопросам модернизации базовой графической подготовки и изменения содержания курсов при переходе к Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования (ФГОС ВПО).

Показано, что основные дискуссии развернулись вокруг дальнейшей судьбы начертательной геометрии. Рассмотрены методы решения метрических задач по начертательной геометрии с применением 3D компьютерного моделирования и предложены некоторые пути по модернизации курса.

Ключевые слова: графическая подготовка, начертательная геометрия, инженерная графика.

Геометро-графическая подготовка с момента становления технического образования в России является неотъемлемой частью общенаучной и общепрофессиональной подготовки студентов. Геометро-графическое образование представлено в настоящее время комплексом дисциплин: начертательной геометрией, инженерной и компьютерной графикой, изучение которых способствует формированию графической культуры выпускников и является необходимой основой для подготовки компетентных специалистов в области техники и технологии.

Современный уровень развития информационных технологий в некотором смысле стирает границы между отдельными разделами графических дисциплин (инженерной и компьютерной графикой), изменяет акценты при изучении теоретических основ построения изображений в рамках традиционной начертательной геометрии.

При неизбежном уменьшении количества часов, отведенных на геометро-графическое образование, и необходимости гарантировать формирование требуемых в соответствии с ФГОС ВПО графических компетенций необходим дальнейший пересмотр содержания программы геометрической подготовки в вузе.

Как показал анализ материалов конференций [1, 2] и некоторых других публикаций, имеется неоднозначность взглядов по вопросам модернизации базовой графической подготовки и изменения содержания курсов при переходе на ФГОС ВПО, которые читаются на кафедрах начертательной геометрии и инженерной графики.

В последние годы в научно-методических статьях развернулась оживленная дискуссия о судьбе начертательной геометрии как учебной дисциплины. Одни относят ее к умирающим дисциплинам [3]. Другие предлагают отказаться от метода проецирования и, как следствие, изучения традиционных основ начертательной геометрии и заняться трехмерным геометрическим моделированием, поскольку можно решить любую геометрическую задачу непосредственно на 3D-модели [4]. С такими доводами не согласны те представители кафедр инженерной графики, которые считают, что начертательная геометрия является грамматикой черчения, хотя и не отрицают целесообразности применения 3D компьютерного моделирования при изучении графических дисциплин. Но полагают, что при этом нельзя выхолащивать идею проекционного черчения, отказываться от графических и аналитических методов решения всевозможных метрических и позиционных задач по начертательной геометрии [5].

Графические методы решения могут быть применимы и на 3D компьютерных моделях геометрических объектов. Такой подход к применению 3D-моделей в начертательной геометрии позволит, по нашему мнению, с одной стороны, сохранить накопленный за многие годы опыт

проекционного черчения, а с другой – автоматизировать методы решения позиционных и метрических задач, обогатив тем самым теорию и практику начертательной геометрии.

В настоящей статье на примере решения типичной для начертательной геометрии задачи была поставлена цель показать, как реализуется метод ее графического решения на базе 3D-моделирования, сравнить его результат с результатом, полученным традиционным способом, и попытаться дать сравнительную оценку предложенного и традиционного методов.

Условие задачи: определить расстояние от точки  $D(60, 10, 70)$  до плоскости, заданной треугольником  $ABC$  с координатами вершин:  $A(90, 0, 30)$ ,  $B(55, 60, 60)$ ,  $C(25, 25, 0)$ . Для решения задачи воспользуемся пакетом Компас-3D, V13.

На рис. 1 показан эпюр графического решения данной задачи традиционным способом. На эпюре приняты следующие обозначения:  $a, a', a''$  – горизонтальная, фронтальная и профильная проекции точки  $A$ .

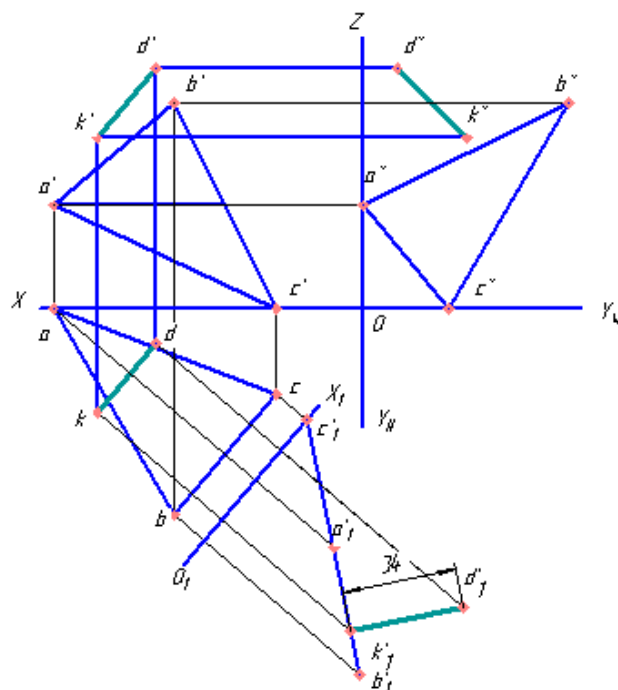


Рис. 1. Решение задачи традиционным способом

Результатом решения задачи является проекция  $k'_1d'_1$ , равная натуральной величине расстояния от точки  $D$  до плоскости  $ABC$ , полученная в результате преобразования проекций исходной системы координат.

Для решения задачи вторым способом создадим 3D-модели точки  $D$  и плоскости  $ABC$ . Точку будем моделировать сферой с диаметром 1 мм, а плоскость – призмой высотой 0,1 мм. На рис. 2 представлена 3D-модель объекта «точка – плоскость», расположенная в пространстве в соответствии с заданными координатами и представленная в виде изометрии XYZ.

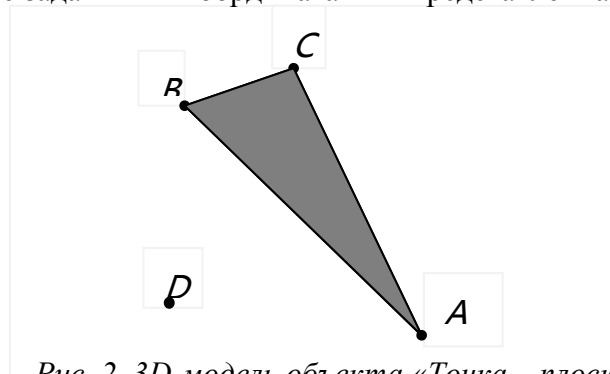


Рис. 2. 3D-модель объекта «Точка – плоскость»

На рис. 3 приведена изометрия XYZ 3D-модели исследуемого объекта, в которой расстояние от точки до плоскости уже представлено моделью отрезка прямой DK. Причем точка K получена путем проецирования точки D на плоскость треугольника ABC.

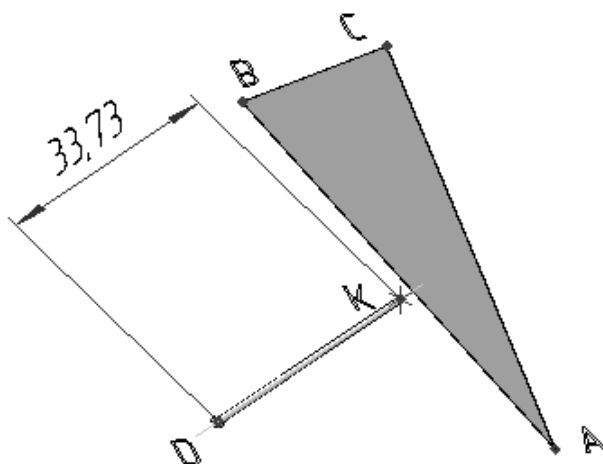


Рис. 3. Графическое решение задачи на базе 3D-моделирования

Для получения наглядного графического представления решения задачи представим 3D-объект моделирования на плоскости в системе координат Монжа.

На рис. 4 изображены ассоциативные виды 3D-модели, представляющие фронтальную и горизонтальную проекции исследуемого трехмерного объекта.

Подведем итог и сделаем окончательные выводы. Итак, задача решена двумя способами:

- 1) традиционным способом (см. рис. 1);
- 2) с применением 3D-моделирования (рис. 4).

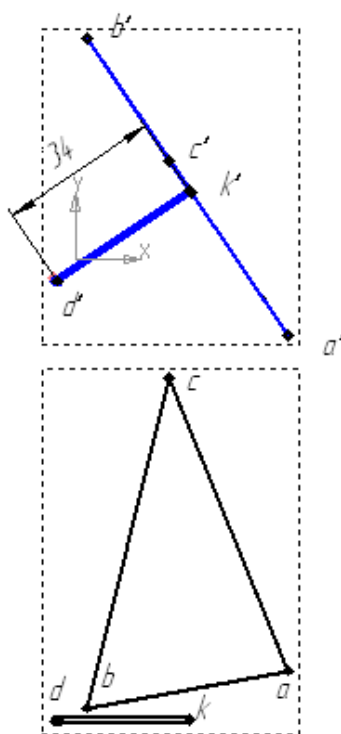


Рис. 4. Представление результата решения задачи в системе координат Монжа

Результаты представлены графически и совершенно идентичны. Приведем доводы, которые, по нашему мнению, выступают в пользу второго способа.

1. Относительная простота и возможность автоматизированного представления результата на плоскости в системе координат Монжа (рис. 4). Уходим от громоздких ручных (пусть даже и в системе Компас) построений, связанных с преобразованием исходной системы координат.

2. При отсутствии необходимости графического представления результатов измерений задача еще больше упрощается и сводится просто к построению 3D-моделей геометрических элементов (см. рис. 2).

3. Приняв во внимание вышесказанное, можно существенно сократить изучение некоторых тем начертательной геометрии, так как при построении 3D-моделей и их преобразованиях достаточно воспользоваться операциями раздела компактной панели «Вспомогательная геометрия» (смещенная плоскость, плоскость по трем точкам и т. п.). Дополнительное время как раз необходимо для освоения чертежно-графического редактора Компас-3D.

4. Несомненным достоинством изучения дисциплины «Инженерная и компьютерная графика», как с практической, так и с методической точки зрения, будет единый подход к изучению тем начертательной геометрии и инженерной графики на базе применения современного аппарата 3D компьютерного моделирования, который сегодня является основным методом проектирования.

#### Список используемых источников

1. Материалы II Международной научно-практической интернет-конференции. Пермь, 2011 г. – Пермь: ПГТУ, 2011. – 322 с.
2. Материалы III Международной научно-практической интернет-конференции. Пермь, 2012 г. – Пермь: ПГТУ, 2013. – 323 с.
3. Тунаков Ф.П. Начертили и забыли // Поиск. – 2007. – 14 марта.
4. Рукавишников В.А., Антонов В.В. Начертательная геометрия: от расцвета до заката / Проблемы геометрического компьютерного моделирования в подготовке конструкторов для инновационного производства: сб. материалов Поволжской науч.-метод. конф. – Саратов: СГТУ, 2010. – С. 137–143.
5. Горнов А.О. Естественная структура инженерной подготовки // Материалы III Международной научно-практической интернет-конференции. – Пермь: ПГТУ, 2013 – С. 74–84.

Б.И. Просенков,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
Н.В. Васкевич;  
И.В. Плакс

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИН ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ КУРСАНТОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЕЙШИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В статье показано, что внедрение методов трехмерного проектирования в учебный процесс является значительным результатом на пути повышения эффективности изучения графических дисциплин за счет применения новейших компьютерных технологий.

Обоснована целесообразность перехода от традиционных методов решения задач по начертательной геометрии к методу 3D компьютерного моделирования.

Ключевые слова: графическая подготовка, начертательная геометрия, инженерная графика.

Геометро-графическое образование в вузах МО РФ, так же как и в технических университетах России, представлено в настоящее время комплексом дисциплин: начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика. В Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского графическая подготовка обеспечивается дисциплиной инженерная и компьютерная графика, состоящей из двух разделов: «Теоретические основы инженерной и компьютерной графики», «Применение средств компьютерной графики для выполнения конструкторских и программных документов».

Процесс обучения вопросам выполнения конструкторских документов базируется на применении специализированных компьютерных пакетов системы «Компас 3D». Все виды конструкторских документов – чертежи, текстовые документы (в том числе пояснительные записки), электрические схемы и схемы алгоритма (в среде «VISIO») выполняются обучающимися на персональном компьютере. При этом необходимо особо отметить, что при разработке и выполнении чертежей совершен переход от применяемого ранее 2D-проектирования к 3D-проектированию на базе твердотельных компьютерных моделей. 3D-проектирование обладает рядом преимуществ перед традиционным 2D-проектированием. Это лучшее визуальное представление проектируемых изделий, более высокая точность проектирования особо сложных пространственных объектов, а также неограниченные возможности и легкость в редактировании трехмерной модели в процессе проектирования и на любом этапе существования уже готовой проектной документации. Установленная ассоциативная связь: модель изделия – чертеж – документация на изделие, позволяет на любом этапе проектирования корректировать выполняемое задание. При внесении изменения в 3D-модель, оно автоматически отображается в остальных документах, связанных с этой моделью, например в чертеже и спецификации, если речь идет об электронной модели сборочной единицы. В связи с этим достигается значительная экономия времени на проектирование и корректировку уже готовых проектов.

Скажем больше, согласно ГОСТ 2.102-68 «Виды и комплектность конструкторских документов» (с изменением № 8, 2006 г.) виды конструкторских документов, разрабатываемые на изделие, дополнены новыми документами. Это – электронная модель детали, электронная модель сборочной единицы, электронная структура изделия и ведомость электронных документов. Электронная модель детали может быть принята за основной конструкторский документ детали, а электронная структура изделия – за основной документ сбо-

рочной единицы. При этом документы одного вида и наименования независимо от формы выполнения являются равноправными и взаимозаменяемыми.

Таким образом, трехмерное моделирование является наиболее наглядным, точным и полным источником информации об объекте, с использованием которой может быть выполнена и оформлена, при необходимости, конструкторская документация на электронных или бумажных носителях.

Очень важным положительным результатом перехода к 3D-проектированию является то обстоятельство, что время выполнения чертежей на базе 3D-модели может быть в разы меньше, чем выполнение тех же чертежей в 2D-режиме. И, конечно, тут нельзя не отметить, что изучение 3D твердотельного моделирования воспринимается обучающимися с большим энтузиазмом, так как они прекрасно понимают, что это новейшие компьютерные технологии, и они могут быть востребованы и в дальнейшем, как при изучении специальных дисциплин, так и при решении многих инженерных задач в повседневной жизни.

На рис. 1 приведено изображение 3D твердотельной модели детали штуцер, построенное в среде системы «Компас 3D». На рис. 2 изображен чертеж той же детали, выполненный в автоматическом режиме после выполнения пользователем ряда управляющих команд.

Освоение преподавателями кафедры аппарата 3D-моделирования и внедрение его в учебный процесс при изучении тем второго раздела дисциплины является значительным результатом кафедры на пути повышения эффективности обучения на основе применения новейших компьютерных технологий и усовершенствования методик преподавания.

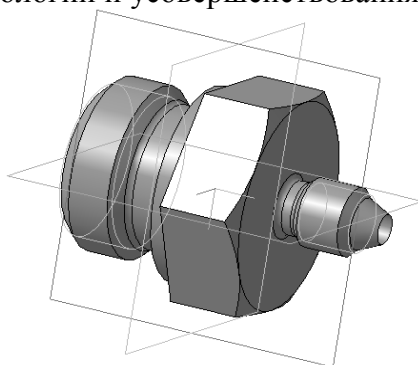


Рис. 1. 3D-модель детали

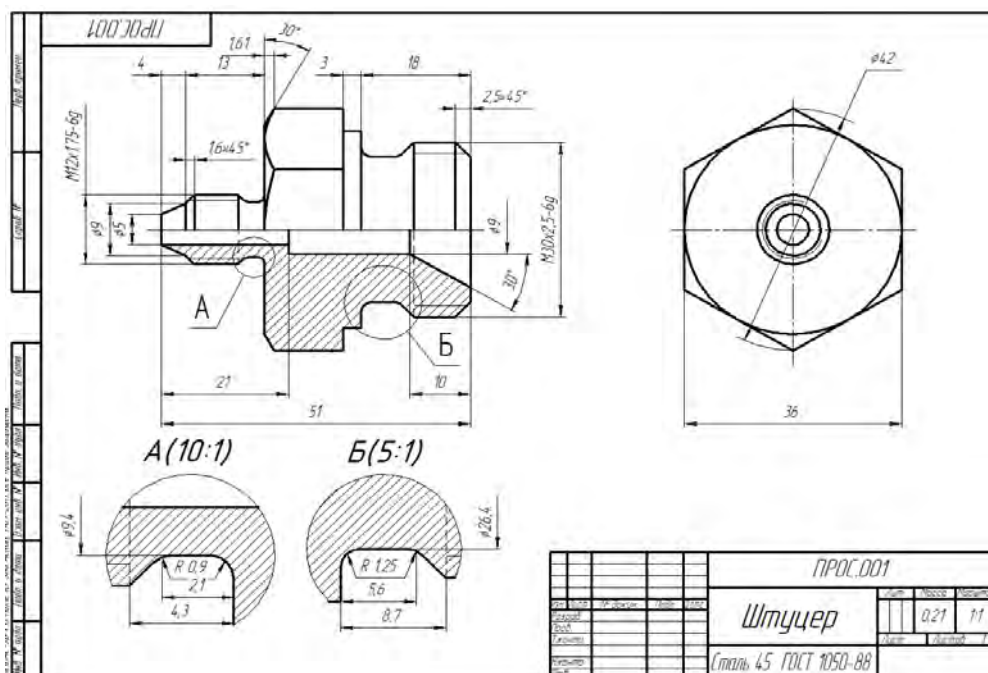


Рис. 2. Чертеж детали

Таким образом, внедрение аппарата 3D компьютерного моделирования в учебный процесс при изучении тем второго раздела дисциплины является значительным результатом на пути повышения эффективности обучения за счет применения новейших компьютерных технологий и усовершенствования методик преподавания.

Однако, отметив несомненное достоинство применения 3D компьютерных технологий при разработке конструкторских документов в рамках второго раздела, нельзя не указать на информационный вакуум, образовавшийся между темами начертательной геометрии, представляющими теоретические основы инженерной графики в первом разделе дисциплины (изучение которых проходит традиционными методами), и собственно темами второго раздела дисциплины. Это же обстоятельство отмечается в работах ряда авторов [1, 2], которые считают, что начертательная геометрия в ее традиционном виде полностью изжила себя, так как все задачи начертательной геометрии могут быть эффективно решены с помощью 3D компьютерного моделирования, а применение 3D-моделирования при изучении начертательной геометрии обеспечит логически выстроенный мостик для перехода к решению задач по инженерной графике.

В настоящей статье авторы, ориентируясь на учебные программы по специальностям подготовки и графические компетенции выпускников академии, поставили цель исследовать возможность применения 3D компьютерного моделирования на примере решения типовых задач по начертательной геометрии из первого раздела дисциплины инженерная и компьютерная графика.

На рис. 3 показан эпюр комбинированного геометрического тела со сложным вырезом, выполненный традиционным (в дальнейшем первым) способом.

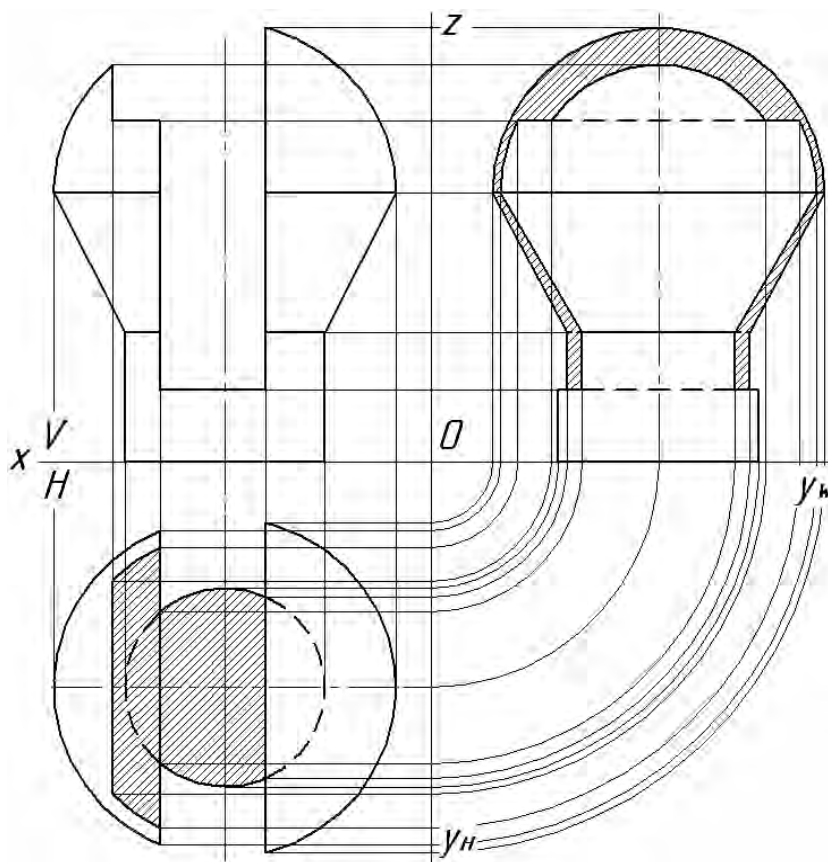


Рис. 3. Эпюр комбинированного геометрического тела с вырезом

На рис. 4, а, б показаны соответственно модель этого тела и его эпюр, построенный по этой модели (в дальнейшем вторым способом).

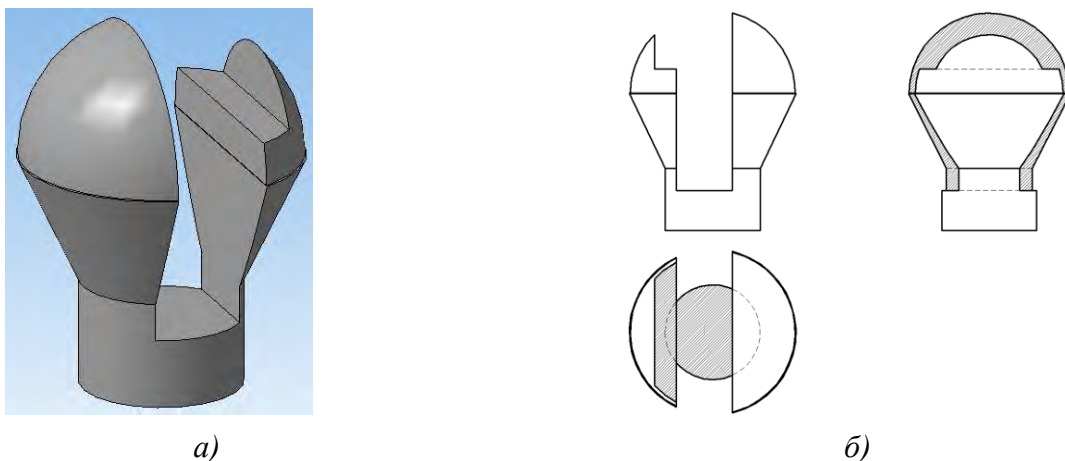


Рис. 4. 3D-модель (а) и эпюр комбинированного геометрического тела с вырезом (б)

Из анализа рисунков видно, что сложность построения эпюра первым способом обусловлена сложностью построения линии пересечения и определения ее видимости. Напротив, линия пересечения на всех проекциях во втором случае построена путем выполнения нескольких команд в главном окне системы чертежно-графического редактора Компас-3D на базе использования информации обо всех проекциях геометрического тела, содержащейся в его 3D-модели. Что касается построения модели геометрического тела, то для ее выполнения необходимо построить всего лишь четыре простейших эскиза и выполнить четыре операции.

При подготовке материалов данной статьи один из соавторов выполнял эпюр первым способом, второй – вторым. Соотношение затраченного времени на выполнение этих эпюров приблизительно равно 1:10. Таким образом, выигрыш во времени при выполнении эпюра вторым способом оказался более чем в 10 раз. При этом вполне понятно, что по мере усложнения задачи проектирования этот выигрыш будет только возрастать.

На рис. 5 приведен эпюр двух пересекающихся геометрических тел, построенный первым способом.

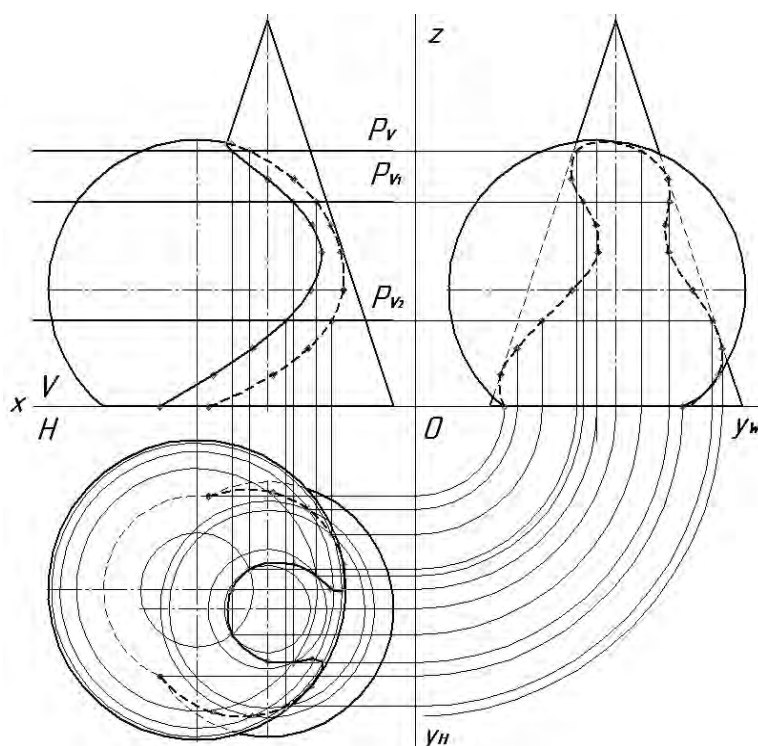


Рис. 5. Эпюр пересекающихся сферы и конуса

На рис. 6, а, б изображены соответственно модель и эпюр этих тел, построенные вторым способом.

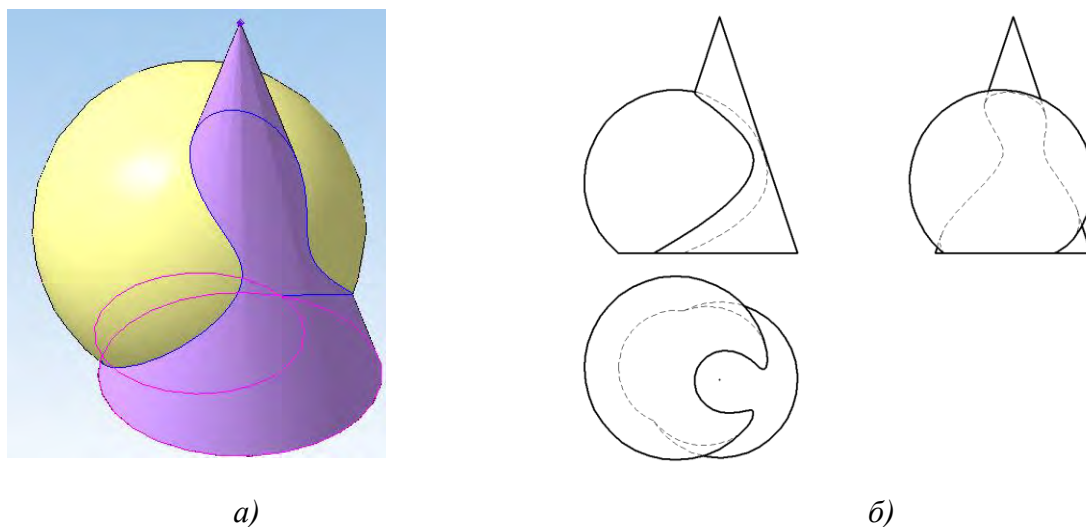


Рис. 6. 3D-модель (а) и эпюр пересекающихся сферы и конуса (б)

Из анализа рисунков следует, что по мере усложнения построений при первом способе выполнения эпюра целесообразность применения второго способа только возрастает.

В заключение приведем эпюр сложной позиционной задачи, которую обучающиеся решают в рамках расчетно-графической работы и на выполнение которой отводится две недели (рис. 7).

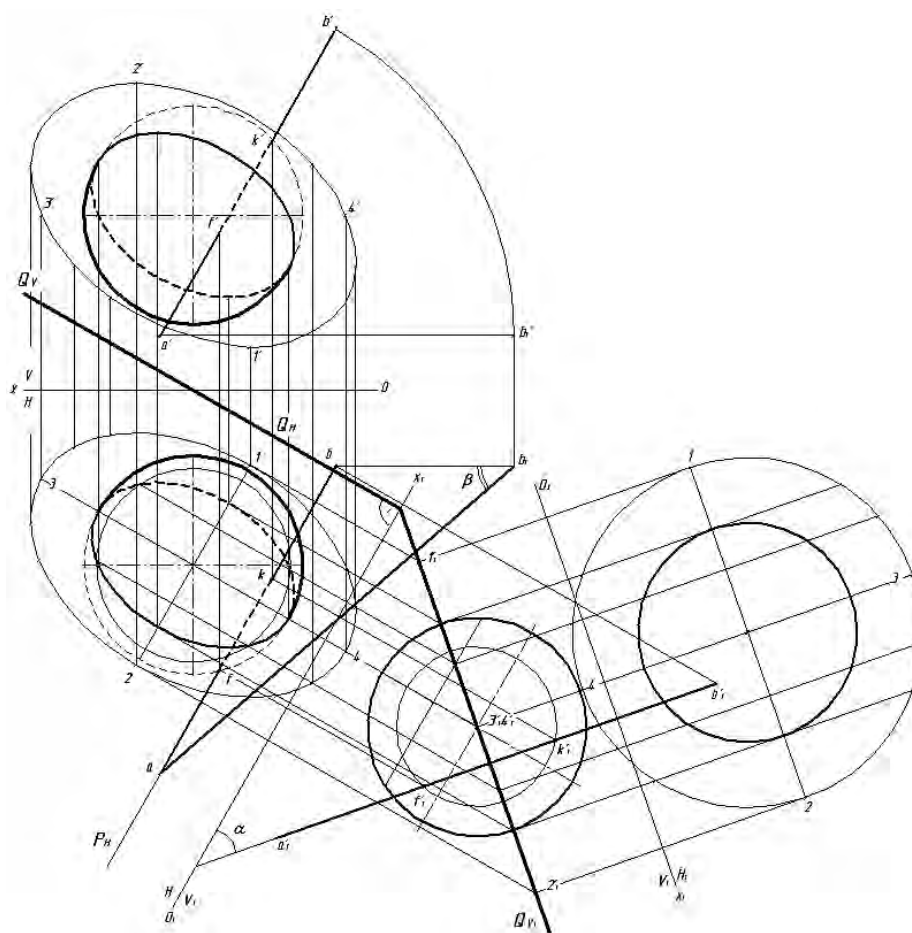


Рис. 7. Эпюр решения позиционной задачи

По условию задачи необходимо определить координаты точек пересечения прямой АВ с поверхностью сферы, ее размер и углы наклона к плоскостям проекций, а также построить дополнительную плоскость Q и траекторию движения точки S.

На рис. 8, а представлена 3D-модель, на построение которой ушло приблизительно 30 мин. времени. На рис. 8, б – эюр позиционной задачи, построенный вторым способом.

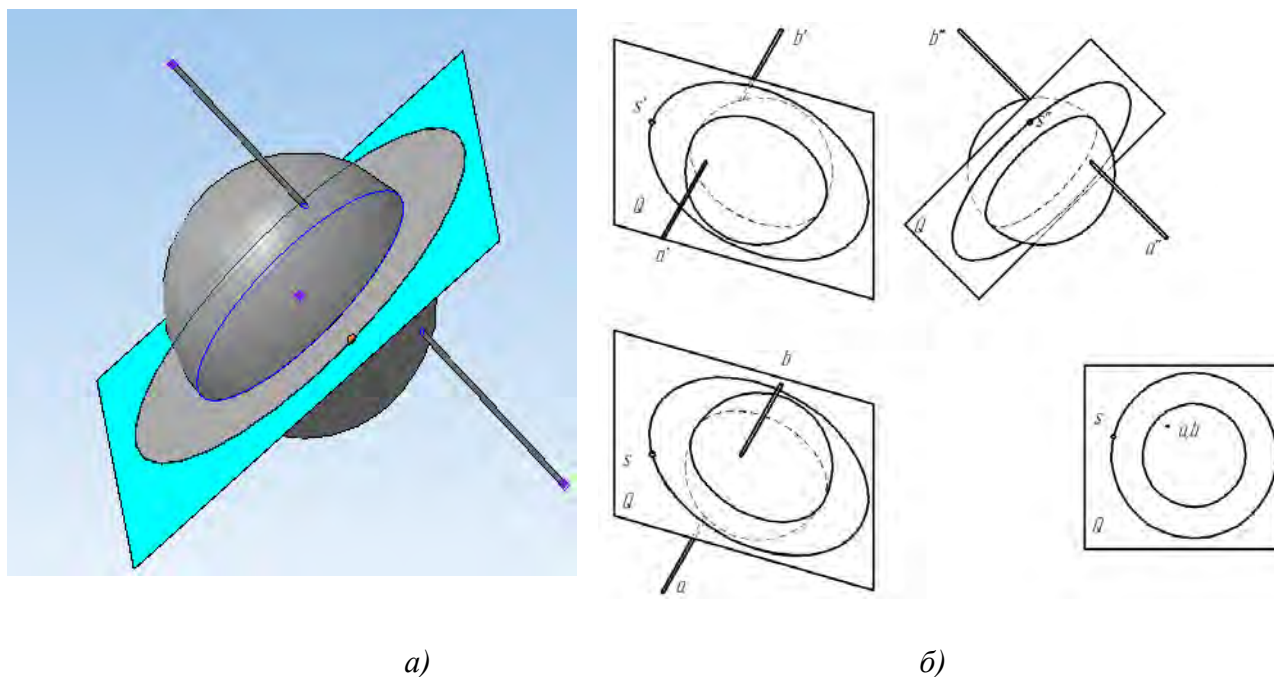


Рис. 8. 3D-модель объекта (а) и эюр решения позиционной задачи (б)

Размер прямой и углы ее наклона к плоскостям проекций могут быть определены с помощью измерителя, встроенного в систему Компас-3D, прямо по изображению 3D-модели заданной комбинации геометрических тел.

В заключение помимо ранее отмеченного преимущества в оперативности получения результата приведем другие существенные, по-нашему мнению, достоинства метода построения эюр на базе 3D-моделирования.

1. Более высокая точность построений и определения значений различных параметров трехмерных объектов при решении метрических и позиционных задач.

2. Наибольшая внятность процедуры построения 3D-модели. Допущенная при построении ошибка будет выявлена сразу же на текущем шаге алгоритма построения. Напротив, при построении эюра традиционным способом ошибка, допущенная на начальном этапе построения, чаще всего может быть обнаружена только на заключительном его этапе при анализе результата. При этом нельзя не заметить, что алгоритмы построения достаточно сложны, обучающиеся чаще всего не понимают смысла в проводимых построениях, механически запоминая лишь последовательность тех или иных действий по его реализации.

3. Изучение алгоритмов построения эюр по начертательной геометрии традиционным способом имеет лишь академический интерес, так как в дальнейшем при изучении тем второго раздела приобретенные навыки в построении эюр практически не используются. Напротив, мы сможем намного повысить эффективность освоения тем второго раздела, приступив к его изучению после освоения аппарата трехмерного моделирования, если построение эюр по начертательной геометрии будем проводить вторым способом.

**Список используемых источников**

1. *Рукавишников В.А., Антонов В.В.* Начертательная геометрия: от расцвета до заката // Проблемы геометрического компьютерного моделирования в подготовке конструкторов для инновационного производства: сб. материалов Поволжской науч.-метод. конф. – Саратов: СГТУ, 2010. – С. 137–143.

Р.-Б.Б. Станиславичюс,  
кандидат техн. наук;  
П.А. Сазонов

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РУССКОЙ АРМИИ ОПТИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ ВО ВРЕМЯ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Статья подготовлена к 100-летию Первой мировой войны. В ней изложена одна из наиболее важных проблем, вставшая перед Главным артиллерийским управлением русской армии с началом Первой мировой войны, а именно, отсутствие оптического стекла для производства военных оптических приборов. Актуальность данной темы заключается в возрождении и сохранении памяти о великой войне, о ее героях, о патриотизме всего русского народа и его истории.

Ключевые слова: оптическое вооружение, русская артиллерия, оптическое стекло и его производство, панорамные прицелы, военный призмный бинокль.

Оптика для армии имеет исключительное значение. На войне, где успех боев часто зависит от того, насколько точно и далеко мы видим противника, очень трудно обходиться без специальных оптических приборов. Армия, которой не хватает прицелов и дальномеров, подзорных труб и биноклей – это почти слепая армия. До мировой войны Германия была практически единственным поставщиком оптических приборов для всех стран [1]. Она же поставляла и специальное оптическое стекло. Призмные бинокли 6<sup>x</sup> увеличения, большие и малые стереотрубы с увеличением 8–20<sup>x</sup>, оптические дальномеры, панорамные прицелы русская артиллерия получала от германских фирм Цейсса и Герца, открывших еще до начала войны свои оптические мастерские в России (в Риге).

Во время войны в артиллерии наблюдение производилось преимущественно с помощью биноклей и зрительных труб, а в период позиционной борьбы с помощью перископов [2]. Простейший зеркальный перископ изображен на рис. 1. В нем имелись два параллельных зеркала, расположенных под углом 45° к горизонту, что позволяло наблюдать за противником, не высываясь из-за укрытия. Зеркальный перископ имел два крупных недостатка – небольшое поле зрения и отсутствие увеличения. В призмном перископе (рис. 2) вместо зеркал использовались прямоугольные равнобедренные отражательные призмы, а наличие объектива и окуляра сделали его значительно совершеннее. Но и такой перископ не полностью удовлетворял требованиям артиллеристов, так как наблюдать через него можно было лишь одним глазом.

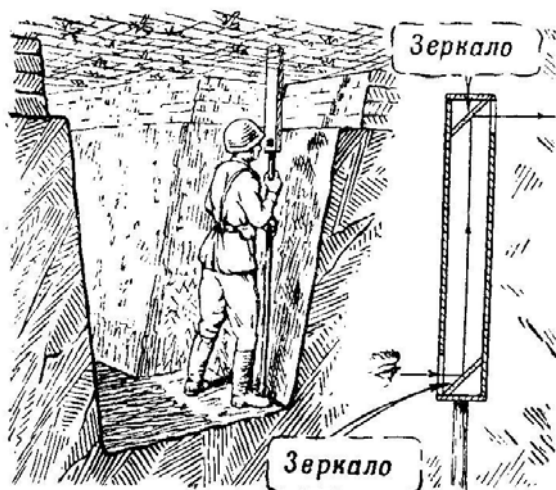


Рис. 1. Зеркальный перископ

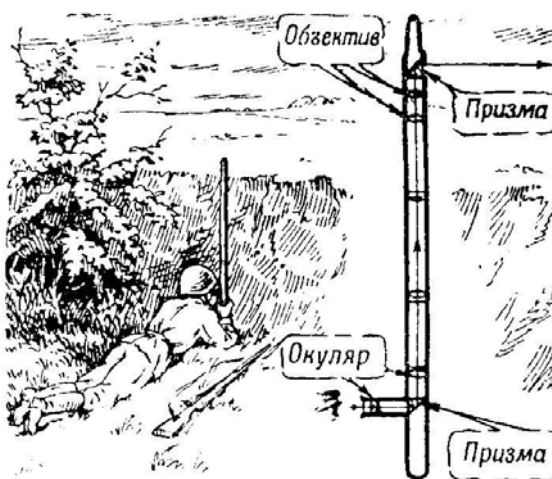


Рис. 2. Призмный перископ

Наиболее удобным и широко распространенным оптическим наблюдательным прибором является призмный бинокль. Бинокль – оптический прибор, состоящий из двух параллельно расположенных зрительных труб, соединенных вместе, для наблюдения удаленных предметов двумя глазами (рис. 3). Бинокль, в отличие от зрительной трубы, позволяет наблюдателю видеть стереоскопическое изображение объектов местности.

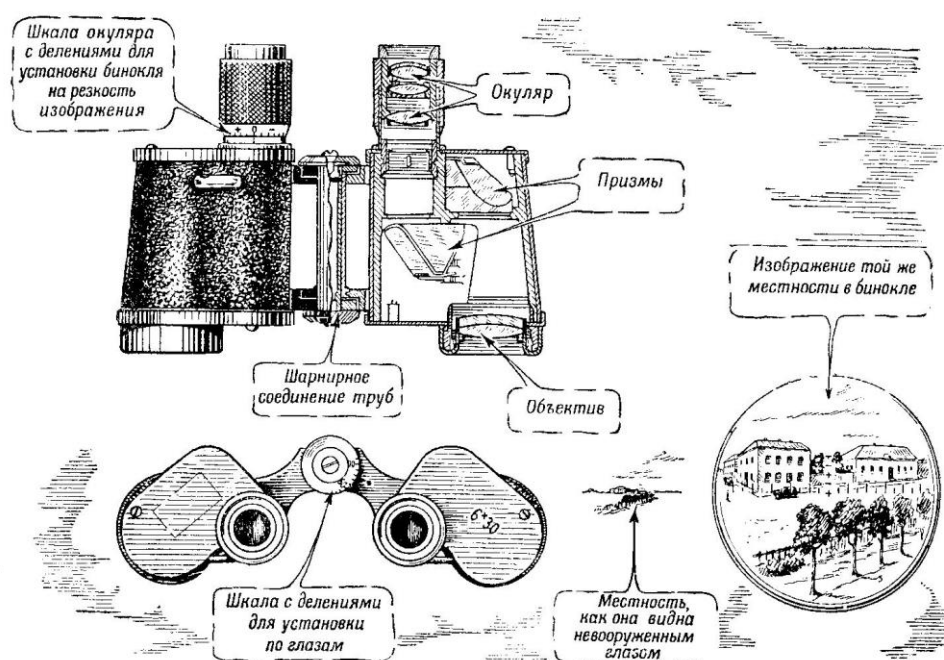


Рис. 3. Военный призмный бинокль

Чтобы бинокли с большим увеличением не выглядели громоздкими, в конце XIX века немецкая компания Carl Zeiss разработала и начала выпускать бинокли, длина которых стала существенно меньше, чем сумма фокусных расстояний объектива и окуляра. Сокращения длины удалось добиться за счет установки между объективом и окуляром оборачивающих призмных систем, которые несколько раз «ломают» оптическую ось трубы. Кроме того, формируемое изображение получается прямым, а не обратным, как в большинстве других астрономических приборов. Каждая зрительная труба бинокля того времени имела двухлинзовый ахроматический объектив, оборачивающую призмную систему Порро I рода и ортоскопический окуляр.

Артиллерийская панорама представляет собой перископический прицельный механизм артиллерийского орудия, предназначенный для обеспечения прицеливания как при стрельбе прямой наводкой, так и при стрельбе с закрытых позиций, не требующий при этом нахождения наводчика на оптической оси объектива, что позволяет последнему укрываться за щитом орудия. Впервые идея перископического панорамного прибора была высказана М.В. Ломоносовым. Панорама существенно повысила точность наводки и заменила угломер – основной прибор, применявшийся в то время для наводки орудий [3].

Оптическая система панорамы (рис. 4) состоит из защитного стекла 1, головной отражательной призмы 2, призмы Дове 3, двухлинзового объектива 4, крышеобразной призмы 5, плоскопараллельной пластинки 6 с перекрестием, симметричного окуляра 7 и защитного стекла ночного освещения 8. Следует обратить внимание на одно принципиальное отличие иностранных панорам от панорам отечественного производства.

За единицу измерения угловых величин в артиллерии многих государств, в отличие от России, принято деление угломера, равное  $1/6400$  части окружности. В России деление угломера соответствует  $1/6000$  части окружности. Это отличие не меняет принципов построения

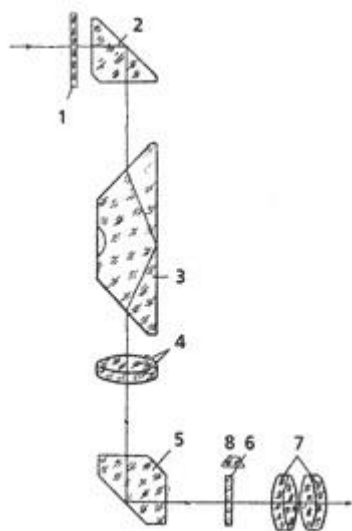


Рис. 4. Оптическая схема панорамы

отсчетных механизмов и приборов в целом, а лишь предполагает иную величину единицы измерения, которая была принята при проектировании прибора. За вековой период своего существования панорама претерпела определенные изменения, направленные на улучшение ее конструктивных, точностных и эксплуатационных характеристик. Однако главная ее составляющая часть – оптическая схема осталась практически неизменной.

В России производство артиллерийских панорам было налажено в оптической мастерской Обуховского сталелитейного завода. В 1904 году панорама выдержала испытания и в 1906 году была принята на вооружение к 76-мм пушке образца 1902 года. Отечественные панорамы с честью выдержали конкуренцию зарубежных фирм. Русские панорамы удовлетворяли всем техническим требованиям и при этом были в два раза дешевле немецких (290 руб. вместо 600 руб. за штуку).

С началом войны оптико-механические мастерские Цейсса и Герца были реквизированы и работали на русскую артиллерию.

Но уже через несколько месяцев после начала войны русская армия стала остро испытывать недостаток в одном из важнейших видов вооружения – оптическом вооружении. Небольшие запасы оптических приборов, имевшихся в России и собранных из иностранных материалов, были уничтожены в первых боях. Отечественные оружейные заводы могли бы изготавливать необходимые приборы, но у них не было оптического стекла. Заводов, изготавливавших оптическое стекло, в России не было. Только три завода в мире изготавливали оптическое стекло: завод Парра-Мантуа во Франции, завод братьев Ченс в Англии и завод Шотта в Германии. Россия не имела собственного оптического стекла, хотя еще Михаил Васильевич Ломоносов заложил научные основы химии и технологии производства однородного оптического стекла. Во время войны всем стало ясно, какое огромное значение для прогресса науки и военного дела имеет оптическое стекло. К мотивам общекультурным прибавились гораздо более веские мотивы – военные.

Совокупная потребность армии и флота России в оптическом стекле в июне 1916 года достигла около 110 пудов в месяц. Иностранные фирмы союзных России государств, не имея излишков, отказались снабжать стеклом нашу промышленность. Во время войны французский завод Парра-Мантуа оказался единственным в мире поставщиком сырого оптического стекла в союзных и нейтральных государствах. Ввоз оптического стекла в Россию из Франции за 1914 года достиг 16 т, в 1915 году – 25 т. Русская армия оказалась в исключительно тяжелом положении. Главное артиллерийское управление и Морское министерство проявляли заинтересованность в постановке собственного производства и освобождении от иностранной зависимости в этой области.

В начале августа 1914 года по заданию Главного артиллерийского управления были обследованы частные заводы во Владимирской, Воронежской, Пензенской, Саратовской, Харьковской и Екатеринославской губерниях. Некоторые из этих заводов откликнулись с большой охотой, и опыты начались одновременно в разных местах. Однако производство оптического стекла требовало исключительных условий, которые не встречались при выработке даже самых тонких сортов обычного стекла. Российские заводы оказались бессильными самостоятельно решить поставленную задачу. Опытных мастеров, владевших приемами изготовления простейших изделий (бутылок, банок), хватало, но заводы не обладали соответ-

ствующими научными силами, которые могли бы поставить систематические опыты и разъяснить мастерам основные требования производства, а также установить причины неудач.

В августе 1914 года комиссия по изысканию способов изготовления оптического стекла в России пришла к выводу, что варить оптическое стекло следует на Императорских фарфоровом и Стеклянном заводах. В октябре 1915 года была сформирована ученая комиссия в составе технического руководителя фарфорового завода Н.Н. Качалова, заведующего производством И.В. Гребенщикова, академика Н.С. Курнакова, профессоров Н.А. Пушина, Д.С. Рождественского, В.Е. Тищенко, А.Л. Гершуна. Состав специально созданной комиссии свидетельствовал о том, что к организации производства оптического стекла привлечены лучшие научные силы страны. Энергии Н.Н. Качалова и И.В. Гребенщикова мы обязаны тем, что оптическое стекло в России теперь умеют варить [4].

В мае 1915 года начались систематические опыты. Предстояло выработать состав глиняной массы для плавильных горшков, определить температуру и время плавки, химический состав стеклянной массы, условия ее остывания и отжига. 10 ноября было доложено о результатах исследования первой призмы, изготовленной заводом. Призма в основном удовлетворяла требованиям Главного артиллерийского управления. Она была не лучше среднего стекла, изготавливавшегося до того времени, но Д.С. Рождественский все же считал возможным в условиях военного времени удовлетвориться и этим. Собранный с использованием таких призм опытный экземпляр бинокля, несмотря на наличие камней и свилей, был вполне годен для эксплуатации [4].

Такая непритязательность во время войны была обычным явлением: вследствие недостатка оптического стекла во всех странах на его качество не стали обращать пристального внимания. Военные заводы для производства оптических приборов брали стекло с камнями и свилями, лишь бы можно было изготавливать приборы для армии. Аналогичное положение в производстве оптических приборов для обеспечения все возрастающих потребностей наблюдалось и у наших тогдашних противников, так как в их биноклях, попадавших в руки русских военных, часто встречалось такое же второкачественное оптическое стекло. В Германии к тому времени число оптических приборов и инструментов чрезвычайно возросло, было изобретено много новых приборов, которые помогали в войне. Таким образом, оптическая промышленность дала одно лишнее оружие в руки противников.

В мае 1916 года состоялся первый выпуск почти бессвильного оптического стекла в количестве 1,5 пуда, в январе 1917 года – 30 пудов. Пока варили только два наиболее ходовых типа стекла невысокого качества, но все-таки начало новому делу было положено. Позднее был изменен метод перемешивания расплавленной массы и разработан совершенно новый процесс ускоренных варок, после чего производительность и качество продукции существенно повысились.

#### Список использованных источников

1. Барсуков Е.З. Артиллерия русской армии (1900–1917). – М.: Воениздат, 1948. – Т.1. – 392 с.
2. Артиллерия. – М.: Воениздат, 1953. – 480 с.
3. Ананьев И.Н. Основы устройства прицелов. – М.: Воениздат, 1947. – 440 с.
4. Цейтлин М.А. Очерки по истории развития стекольной промышленности России. – М.-Л.: Наука, 1939. – 231 с.
5. Рождественский Д.С. Избранные труды. – М.-Л.: Наука, 1964. – 349 с.

А.А. Ардашов,  
*кандидат техн. наук, старший научный сотрудник;*  
В.Н. Арсеньев,  
*доктор техн. наук, профессор;*  
Ю.В. Горичев,  
*кандидат техн. наук, доцент;*  
С.Б. Силантьев,  
*кандидат техн. наук, доцент*

## **К 100-ЛЕТИЮ ЕВГЕНИЯ ПАВЛОВИЧА ПОПОВА – ОСНОВАТЕЛЯ И ПЕРВОГО НАЧАЛЬНИКА КАФЕДРЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЕННО-КОСМИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО**

Статья посвящена 100-летию юбилею выдающегося человека – лауреата трех Государственных премий СССР, действительного члена Российской академии наук, доктора технических наук, профессора генерал-майора Попова Евгения Павловича. Показана многогранность его личности как ученого, педагога, организатора. Представленные факты из его жизненного пути позволяют как молодым, так и довольно зрелым людям определить ориентиры в жизни, движение к которым приносит славу российской науке.

Ключевые слова: академия, кафедра, робототехника, управление.

14 февраля 2014 года исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого и педагога, лауреата трех Государственных премий СССР, действительного члена Российской академии наук, доктора технических наук, профессора генерал-майора Попова Евгения Павловича.

В статье мы остановимся на «ленинградском» периоде его жизни, годах становления его как ученого, педагога, организатора научно-педагогических коллективов, основателя и первого начальника кафедры автономных систем управления Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Евгений Павлович Попов родился в Москве. После окончания техникума и работы на заводе в 1934 году поступил в МВТУ имени Н.Э. Баумана, а уже в 1936 году опубликовал свою первую научную работу, в которой изложил оригинальное решение сложной задачи о больших деформациях изгиба тонких стержней и пластинок. Этот успех пробудил в нем азарт творческой деятельности, и доминантой его жизни стал поиск решения научных задач. После окончания МВТУ имени Н.Э. Баумана в 1939 году он поступил в аспирантуру, с первого курса которой был призван в армию. Так судьба и обстоятельства жизни привели Е.П. Попова на военную службу, с которой оказалась связана большая часть его жизни и где он достиг высокого звания генерала.

Службу Е.П. Попов проходил в частях ВВС в составе роты солдат с высшим образованием, где он служил техником по электрооборудованию самолетов. Находясь на действительной военной службе, Евгений Павлович всегда находил время для научной работы, творческие поиски стали образом его жизни.

В мае 1943 года в звании старшего сержанта Е.П. Попов был назначен младшим преподавателем кафедры теоретической механики Ленинградской Краснознаменной Военно-воздушной инженерной академии (ЛКВВИА) – ныне Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Его перевод из авиационной части в академию был вызван обстоятельствами того времени. Неотлаженная система всеобщей воинской мобилизации привела к тому, что в военных вузах ощущалась нехватка преподавательского состава.

Находясь на кафедре теоретической механики, Евгений Павлович представил полученные им результаты решения ряда научных задач, сформулированных для него еще во время учебы в МВТУ имени Н.Э. Баумана талантливым педагогом Владимиром Михайловичем Макушиным. На научно-техническом семинаре он доложил об одной из решенных им задач. На этом семинаре присутствовал начальник кафедры сопромата профессор Г.Г. Ростовцев, который с восхищением сказал: «Да это у Вас почти кандидатская диссертация!». Так Е.П. Попов приступил к написанию кандидатской диссертации по теории деформации витых пружин с учетом явления посадки витков, которую успешно защитил в ноябре 1943 года. Ценность работы состояла в разработке методов решения сложных нелинейных уравнений, необходимых при проектировании пружин. Ее результаты широко использовались как в часовой промышленности, так и в приборостроении, в частности в одном из авиационных НИИ для создания антирезонансных пружин. Разработанный метод приближенного расчета пружин позволил упростить решение задачи проектирования часовых механизмов и компенсационных механизмов стрелочных пружинных приборов. В этом же 1943 году Е.П. Попову было присвоено первое офицерское звание – техник-лейтенант.

После защиты кандидатской диссертации Е.П. Попов приступил к подготовке докторской диссертации на базе второй задачи, поставленной В.М. Макушиным и впервые сформулированной еще Л. Эйлером. Творческая активность Е.П. Попова позволила ему делать научные доклады на конференциях в Ленинградском университете у ученого-кораблестроителя В.В. Новожилова, знаменитых математиков С.В. Смирнова, Г.М. Фихтенгольца, в Ленинградском политехническом институте у известного профессора А.И. Лурье, в институте механики Академии наук СССР. Росла его известность в научном мире, в проектных организациях. Апробированный на многочисленных семинарах и конференциях материал был представлен в виде докторской диссертации, которую Е.П. Попов блестяще защитил в 1946 году. Е.П. Попову в это время – только 32 года, после защиты кандидатской прошло всего три года. Достоинство работы состояло в том, что разнообразные задачи продольного изгиба тонкого стержня или тонкой пластинки решались единообразным путем по разработанному алгоритму. Впервые был разработан метод расчета больших деформаций и открыто новое направление в общей теории упругости.

Многочисленные публикации, выступления на конференциях и семинарах принесли широкую известность Е.П. Попову как в научных кругах, так и среди инженеров за простоту и универсальность предлагаемых методов решения разнообразных задач проектирования. В 1948 году опубликован «Курс теоретической механики» (в соавторстве с Н.В. Бутениным и С.И. Лазеевым). Результаты диссертационных исследований были опубликованы в монографиях «Теория и расчет гибких упругих деталей» (1947 г., издательство ЛКВВИА) и «Нелинейные задачи статики тонких стержней» (1948 г., «Физматгиз»), а затем представлены в Комитет по Сталинским премиям. В 1949 году Е.П. Попову была присуждена персональная Сталинская премия. К этому времени он уже профессор.

Принятие на вооружение новых образцов авиационной техники, которая отличалась высокой насыщенностью автоматическими системами, потребовало от военных вузов скорректировать учебные планы подготовки военных специалистов. Возникла необходимость введения новых дисциплин, в частности по автоматическим и телемеханическим системам. Начальник академии генерал-полковник Родимов Петр Васильевич принял решение создать кафедру автоматики и телемеханики. Перед командованием возник вопрос о поиске офицера, способного возглавить и развить новое направление в технике. Широкая известность Е.П. Попова, с одной стороны, по его научным трудам высокого теоретического уровня, а с другой – по результатам решения многих прикладных задач, позволила командованию безошибочно принять решение о назначении молодого доктора технических наук, профессора, лауреата Сталинской премии на должность начальника кафедры автоматики и телемеханики. Так в 1949 году 35-летний старший преподаватель кафедры теоретической механики инженер-майор Попов Е.П. круто меняет

общее направление своей научной и преподавательской деятельности, став начальником впервые созданной в высших военных учебных заведениях кафедры автоматики и телемеханики.

Со свойственной ему энергией Евгений Павлович взялся за создание новой кафедры, разработку учебных планов и программ. Первый состав кафедры включал четырнадцать человек. Заместителем начальника кафедры стал инженер-капитан Кочетков В.Т.

Одним из первых в стране профессор Е.П. Попов поставил курс «Теория автоматического регулирования» и подготовил по нему фундаментальный учебник, первая часть которого была издана академией в 1952 году, а вторая – в 1954 году. В том же 1954 году в издательстве «Физматгиз» вышла монография Е.П. Попова «Динамика систем автоматического регулирования», переведенная и изданная в Германии, Англии и США и принесшая автору мировую известность. До сих пор эта книга пользуется широкой популярностью у студентов, аспирантов и научных сотрудников, постигающих основы теории автоматического управления.

Помимо изложения линейной теории автоматического регулирования в книге излагаются вопросы динамики автоматических систем, содержащих нелинейности. Такие нелинейности в автоматических системах встречаются часто. Это релейные характеристики разных видов, характеристики с ограничением (насыщением), с гистерезисом, сухим трением и т. п.

В 50-х годах по инициативе Е.П. Попова на созданной им кафедре автоматики и телемеханики были начаты научные исследования в области систем автоматического управления летательных аппаратов. Кафедра занималась исследованиями и преподаванием дисциплин, связанных с особенностями построения и функционирования систем управления как баллистических ракет, так и ракет «воздух-воздух», «воздух-земля», «воздух-море», а также самолетов-снарядов. Коллективы учебных лабораторий в это время создают лабораторные установки, макеты и наглядные пособия по изучаемым дисциплинам. Так, для изучения средств аэродромной телемеханики и систем телеуправления авиационных бомб, реактивных снарядов и торпед в 1950 году был создан уникальный аэродинамический стенд, обеспечивающий возможность моделирования пространственного углового движения летательных аппаратов и испытаний автопилотов, а в 1951 году создается стенд-макет военного аэродрома. Основным методом исследования динамических систем летательных аппаратов был метод частичного моделирования, в соответствии с которым динамика объекта моделируется с помощью аналоговой вычислительной машины (АВМ) и электродинамического стенда, а управляющие воздействия формируются реальной (штатной) аппаратурой. Учебная лаборатория оснащается АВМ ИПТ-4, ИПТ-5, ИПТ-9, которые впоследствии заменяются на МН-2, МН-7, МН-10, МН-18, станцию «Электрон». В то время такой техникой располагала в академии только кафедра Евгения Павловича. Учебная лаборатория благодаря тесным творческим связям кафедры с ведущими военными НИИ и организациями промышленности, главным организатором которых был Е.П. Попов, к концу 50-х годов была оснащена рядом беспилотных управляемых объектов с наземным контрольно-измерительным оборудованием, аппаратурой наведения и телеизмерений, что обеспечивало высокий уровень эксплуатационной подготовки выпускников. Так, в отделениях лаборатории были развернуты технические позиции наводимого по лучу снаряда (РС-IV) класса «воздух-воздух», а также самолета-снаряда «Комета» класса «воздух-земля (море)». Благодаря стараниям Е.П. Попова учебная лаборатория была насыщена реальными образцами отечественных и зарубежных управляемых беспилотных образцов, среди которых были телеуправляемые авиабомбы и даже немецкий самолет-снаряд «ФАУ-1».

В формировании тематики научных исследований и творческих связей кафедры большую роль сыграла деятельность Е.П. Попова в научно-техническом комитете ВВС, председателем Секции которого по беспилотным объектам он был назначен по совместительству в 1954 году. Масштаб научных исследований значительно расширился с образованием на кафедре в 1955 году научно-исследовательской лаборатории (НИЛ), которая в 1957 году

получила название лаборатории автоматизации наведения беспилотных объектов дальнего действия. Сотрудники кафедры и НИЛ образовали единый творческий коллектив, который под научным руководством Е.П. Попова вскоре завоевал передовые позиции в области управления авиационных беспилотных ЛА и получил широкое признание в стране. Кафедра выполняла НИР по заказам командования ВВС и ведущих промышленных организаций, в том числе по решениям Комиссии по военно-промышленным вопросам Правительства СССР, что обеспечивало кафедре и НИЛ широкие возможности подготовки научных и преподавательских кадров. Необходимо отметить, что общая численность всего возглавляемого Евгением Павловичем коллектива кафедры, включающего преподавателей, научно-исследовательскую и учебную лаборатории, а также адъюнктуру в лучшие годы превышала 100 человек, что позволяло обеспечивать большой объем учебно-методической и научно-исследовательской работы. Большой объем НИР выполнялся адъюнктами и соискателями, число которых на кафедре в те времена доходило до двух десятков. Научным руководителем у большей части адъюнктов был Евгений Павлович.

Название кафедры неоднократно менялось. Так, в 1958 году она называлась кафедрой систем управления и наведения крылатых ракет и реактивных снарядов.

В процессе роста кафедры и развития прикладных исследований внутри кафедры формировались новые научные направления, которые приводили к появлению новых учебных дисциплин. К 1958 году стала ясна необходимость появления новых учебных дисциплин для подготовки инженеров ВВС по проблемным вопросам электронных вычислительных машин и устройств инфракрасной техники, а также необходимость в общеинженерной подготовке по общей теории автоматического регулирования выпускников академии практически всех специальностей. По инициативе Е.П. Попова, поддержанной командованием факультета и академии, на базе возглавляемой им кафедры были образованы три новые кафедры академии:

- первая в военных вузах страны кафедра вычислительных машин военного применения;
- кафедра инфракрасной техники и фотооборудования;
- кафедра автоматического управления.

Костяк вновь образованных кафедр составляли выходцы из коллектива кафедры Е.П. Попова. Так, кафедру электронных вычислительных машин возглавил кандидат технических наук инженер-подполковник Беззубов Ю.И., во главе кафедры инфракрасной техники встал адъюнкт Е.П. Попова инженер-капитан Авдеев С.П. – будущий доктор технических наук, профессор, а кафедру автоматического управления возглавил приглашенный ранее из научно-исследовательского института уже сложившийся ученый доктор технических наук, профессор В.А. Бесекерский. Вместе с В.А. Бесекерским на новую кафедру перешли инженер-полковник Пальтов И.П. и Федоров С.М.

В 1950-е годы инженерам и научным работникам, занимающимся анализом и синтезом систем программного управления, стабилизации, следящих систем все чаще приходилось сталкиваться с необходимостью учета существенных нелинейностей в этих системах. Е.П. Попов разработал эффективный и удобный в практическом применении метод гармонической линеаризации. Теоретической базой этого метода являются идеи гармонического баланса и эквивалентной линеаризации, предложенные в известных трудах Н.М. Крылова и Н.Н. Боголюбова, а также развитые в трудах Б.В. Булгакова. Метод послужил основой для решения ряда проблем анализа и синтеза нелинейных систем регулирования и управления. Было разработано, в частности, понятие помехоустойчивости нелинейных систем управления в условиях воздействия упругих колебаний и случайных помех, имеющее большое практическое значение. Под руководством Е.П. Попова были проведены исследования методом гармонической линеаризации контура угловой стабилизации гиперзвукового самолета «Буря» с учетом нелинейности рулевого привода и действия высокочастотных вибраций корпуса в месте установки гироприборов. Оказалось, что спроектированная на основе линейной теории система являлась неустойчивой, что

приводило к многочисленным авариям. В ходе исследований было показано, что добиться устойчивости самолета можно путем изменения параметров регулятора. Е.П. Поповым было показано, что системы с нелинейными законами управления обладают и свойствами самонастраивающихся систем. Результаты исследований представителей школы Евгения Павловича были опубликованы в ряде монографий, начиная с капитального труда Е.П. Попова и И.П. Пальтова «Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем» (1960 г., «Физматгиз»). Эта монография была издана в Германии, США и Польше. Затем были изданы работы Е.И. Хлыпало, Р.А. Нелепина, В.И. Чернецкого и др. Была подготовлена монография «Теория систем телеуправления и самонаведения ракет», опубликованная в издательстве «Наука» в 1964 году. Ее авторами стали В.Т. Кочетков – заместитель начальника кафедры, В.М. Пономарев – приемник Е.П. Попова на должности начальника кафедры, А.М. Половко – будущий начальник кафедры вычислительной техники. Все это свидетельствовало о том, что на кафедре сложилась мощная научная школа по прикладным методам исследования нелинейных систем во главе с Е.П. Поповым.

В 1960 году Е.П. Попов был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР по отделению механики и процессов управления. Евгений Павлович был и остался единственным преподавателем академии, избранным в Академию наук СССР. В этом же году ему присвоили воинское звание генерал-майора. К 1960 году в связи с переходом академии во вновь образованные Ракетные войска стратегического назначения закончился авиационный период в жизни кафедры, в течение которого она превратилась благодаря Е.П. Попову в один из признанных в стране центров развития общей теории автоматического регулирования и теории управления движением беспилотных объектов. Кафедра возглавила кибернетическое направление на факультете, который благодаря созданию на ее базе новых кафедр и их дальнейшему развитию получил название факультета систем управления и вычислительной техники. Объектами изучения и исследований стали баллистические ракеты, космические аппараты и ракеты-носители. Преподаватели и инженеры в кратчайшие сроки не только освоили новую технику, но и поставили новые лекционные курсы и практически переоснастили учебную лабораторию. Добиться успеха в решении этих крайне трудных задач помогли хорошая школа по общей теории автоматического регулирования и опыт работы с системами управления беспилотных объектов, особенно с инерциальными системами гиперзвуковых самолетов-снарядов.

Постановку дисциплины «Системы управления космических аппаратов» взял на себя Е.П. Попов. Поскольку каких-либо публикаций в этой области в то время не было, лекционные курсы по новым дисциплинам приходилось создавать непосредственно по проектным материалам на предприятиях-разработчиках. Доступ к этим материалам был крайне ограничен, однако авторитет Е.П. Попова и его творческие контакты с главными конструкторами и ведущими специалистами открывали перед сотрудниками кафедры все двери. Сам Е.П. Попов, работая над курсом, много времени провел в конструкторском бюро С.П. Королева в отделе систем управления, который тогда возглавлял Б.В. Раушенбах. Уже в 1962 году в издательстве академии было издано учебное пособие Е.П. Попова по лекционному курсу «Системы управления космических аппаратов». Содружество с отделом Б.В. Раушенбаха укрепилось в процессе работы над техническим описанием КА фотонаблюдения «Зенит». В этой работе участвовали как сотрудники отдела, так и сотрудники кафедры. Составить грамотное техническое описание помогли сведения из курса Е.П. Попова. В постановке дисциплины «Автономные системы управления баллистических ракет» большую помощь оказали творческие связи Е.П. Попова с организацией Н.А. Пилюгина. На этой фирме никак не могли найти причину потери устойчивости в контуре стабилизации при испытаниях баллистических ракет, из-за чего имели место случаи их падения. Е.П. Попов сразу обратил внимание на сходство этого явления с тем, что имело место при испытаниях объекта «Буря», и разработал метод исследования стабилизации ракет

с учетом нелинейности рулевого привода и наличия вынужденных вибраций и автоколебаний. На этой основе им была разработана теория вибрационной помехоустойчивости систем стабилизации ракет, положения которой вошли в новый курс.

В декабре 1964 года Е.П. Попов получил назначение в Научно-технический комитет Генерального штаба ВС СССР. Ему было поручено организовать и возглавить Секцию прикладных проблем при Президиуме АН СССР, которая должна была обеспечить использование достижений академической фундаментальной науки в интересах укрепления обороноспособности страны. Одновременно он стал председателем Секции управления движением Научного совета по проблемам управления движением и навигацией при Президиуме АН СССР. После отъезда в Москву Евгений Павлович поддерживал постоянную связь с академией, благодаря чему быстро установились хорошие деловые отношения с сотрудниками Секции. Это очень способствовало тому, что научно-исследовательская работа на кафедре была сконцентрирована на наиболее актуальных проблемах, связанных с созданием нового поколения систем управления баллистических ракет и космических аппаратов. Результаты этих работ были использованы промышленностью и способствовали повышению авторитета кафедры и занятию ею ведущего положения по целому ряду направлений.

Покинув стены академии, которой он отдал более 20 лет молодой, бурной, деятельной жизни, Евгений Павлович Попов оставил неизгладимый пример творчества, настойчивости в достижении цели, вечного поиска нового. Заложенные Е.П. Поповым еще в стенах академии научные направления продолжали развиваться, превращаясь в научные школы.

Так, В.М. Пономарев возглавил школу по теории оптимального управления движением летательных аппаратов, А.М. Половко – по теории надежности. Р.М. Юсупов со своими учениками сосредоточился на развитии теории чувствительности систем управления. Д.А. Башкиров, а затем Л.И. Каргу возглавили кафедру и научную школу по гироскопическим устройствам ракет и космических аппаратов.

История исследования научных открытий, свершений показывает, что они в большинстве случаев совершаются учеными в молодые годы. Е.П. Попов не является исключением из общей закономерности проявления таланта и совершения открытий мирового масштаба молодыми людьми.

Военной службе Е.П. Попов отдал большую часть своей сознательной жизни и принес стране огромную пользу. Очевидно, пребывая на военной службе, он более эффективно реализовывал свои идеи, претворял научные замыслы в жизнь на разработке новой военной техники, поскольку военная техника всегда определяет уровень научных изысканий, уровень новейших достижений науки и техники, уровень технологической культуры, уровень производственных навыков. В силу существующей практики закрытости многих военных разработок у Е.П. Попова при его высоком положении возможности доступа были больше, чем у любого гражданского специалиста. Это способствовало его успеху и известности при разработке военной техники, отвечающей требованиям того времени. Однако не было бы такого успеха и известности, если бы не личностные качества Е.П. Попова и люди, которые его окружали в течение жизни. Работу на пределе возможного он считал естественной для себя и искренне удивлялся, обнаруживая у других иное отношение к делу. Евгений Павлович всегда исходил в первую очередь из интересов дела и не боялся конфликтовать с теми, кто преследовал другие цели. Отсутствие в характере и поведении Евгения Павловича каких-либо черт, вызывающих у его подчиненных внутреннее неприятие, и самые благоприятные условия для постоянного профессионального роста и творческих успехов способствовали существованию на кафедре спокойной дружеской атмосферы, которая поддерживалась также всякого рода коллективными мероприятиями. Он всегда очень внимательно и благожелательно выслушивал собеседника независимо от того, был ли этот собеседник молодым инженером или маститым ученым, и схватывал самую суть обсуждаемого. Е.П. Попов был уважаем и любим всеми сотрудниками кафедры. Его авторитет на кафедре

был во всех сферах ее деятельности непререкаемым. Однако он не был «строгим начальником», он никогда не «распекал» подчиненных, хотя даже его спокойные замечания действовали эффективнее всякого «разноса». В обращении с сотрудниками кафедры Евгений Павлович был по-товарищески прост, хотя и не терпел панибратства и неуважительного отношения. Вместе с тем он всегда был готов помогать окружающим, как в важных делах, так и в мелочах.

Евгений Павлович был отличным лектором. Речь – неторопливая, содержательная, понятная. Перед аудиторией держал себя скромно, не артистично. Больше всего увлекала содержательная сторона лекций, которые Евгений Павлович великолепно наполнял яркими, образными примерами. Идеальный порядок на доске. Рисунки и графики исполнялись очень тщательно. То, что могло потребоваться в лекции повторно, никогда с доски не исчезало. Для быстрого понимания слушателями излагаемого материала он всегда придерживался следующего алгоритма:

- рисунок, дающий образное представление об объекте изучения;
- формула, определяющая взаимодействие элементов схемы в соответствии с физическими законами;
- число, полученное расчетом и подтверждающее основные физические процессы;
- слово, дающее толкование изучаемого объекта исследования.

Евгений Павлович стремился донести до слушателей сложные вопросы простой аргументацией, объяснить, как говорят, «на пальцах». Все это вызывало у обучаемых интерес к предмету и желание посещать кружок военно-научного общества кафедры.

Е.П. Попов говорил всегда просто, ясно, конкретно, так что его нельзя было не понять. Сила воздействия его слов была так велика, что общение с ним запоминалось на все последующие годы. Он обладал удивительной способностью объяснять понятно сложные вещи. Это видно по его книгам.

Е.П. Попов в течение многих лет активно публиковал свои работы. Книга «Автоматическое регулирование» выдержала три издания (1956, 1957 и 1959 годы). Эти книги были хорошо приняты читателями и широко использовались в качестве начального учебного пособия. Изданная в 1965 году в издательстве «Наука» книга «Автоматическое регулирование и управление» сохранила прежний общедоступный стиль изложения, но содержала ряд новых вопросов, не включавшихся в прежние выпуски. Эта книга также выдержала несколько изданий.

В 1966 году издательством «Наука» была выпущена фундаментальная работа «Теория систем автоматического регулирования», авторы которой В.А. Бесекерский и Е.П. Попов адресовали ее широкому кругу инженеров, аспирантов и научных работников. Эта книга вначале задумывалась как переиздание книги Е.П. Попова «Динамика систем автоматического регулирования» (1954 г., «Гостехиздат»). Однако теория автоматического регулирования за истекшие годы ушла далеко вперед, поэтому содержание новой книги написано заново. Книга также выдержала несколько изданий и стала базовой во многих вузах при подготовке специалистов по соответствующим специальностям.

В 1970 году под редакцией Е.П. Попова была выпущена серия из шести книг, посвященных различным аспектам анализа и синтеза нелинейных автоматических систем. В 1973 году в издательстве «Наука» вышла книга Е.П. Попова «Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах».

После увольнения из армии в 1971 году Е.П. Попов вернулся в МВТУ имени Н.Э. Баумана. Здесь он возглавлял сначала кафедру прикладной математики, а затем кафедру автоматических систем, где сложилось новое научное направление – дистанционно управляемые манипуляционные системы. Вскоре под руководством и при самом непосредственном участии Е.П. Попова на кафедре образуется группа сотрудников, начавших работу в области робототехники. По инициативе Евгения Павловича в перечне научных специальностей ВАК СССР появляется новая специальность – «Роботы,

манипуляторы и робототехнические системы». В 80-е годы были приняты государственные программы, предусматривающие широкое внедрение робототехники в отечественную промышленность. Появилась новая специальность подготовки инженеров – «Робототехнические системы и комплексы». В Минвузе СССР был создан научно-технический совет по этой специальности, который возглавил Е.П. Попов. В 1981 году создается Научно-учебный Центр «Робототехника» Академии наук и Минвуза СССР (с 1991 года – Научно-учебный Центр робототехники и автоматизации МГТУ имени Н.Э. Баумана и Российской Академии наук), руководителем которого становится Е.П. Попов. Это было одно из первых научно-педагогических учреждений в России, в котором получила непосредственную реализацию идея интеграции академической науки с вузовской наукой и с учебным процессом. В 1984 году для подготовки инженеров по специальности «Робототехнические системы и комплексы» Е.П. Попов создает новую кафедру – «Робототехнические системы», которая стала основой для создания нового факультета – «Робототехника и комплексная автоматизация». Постоянно заботясь о поддержании научных и деловых связей с Академией наук, он возглавляет Научно-координационный Совет по научным исследованиям в области робототехники АН СССР, а в академическом институте машиноведения имени академика А.А. Благоднарова – лабораторию робототехники. Постоянные деловые связи были установлены с целым рядом отраслевых НИИ, среди которых следует назвать Государственный НИИ физико-технических проблем и Санкт-Петербургский Институт робототехники и кибернетики (ныне – Государственный научный центр). После 1990 года Е.П. Попов ушел с должности заведующего кафедрой «Робототехнические системы», при этом оставался научным руководителем Центра робототехники.

Евгений Павлович ушел из жизни в 1999 году. Похоронен в Москве на Кунцевском кладбище.

Пожалуй, ни одна страна мира не может назвать столь блестящую плеяду ученых, определивших пути развития в области теории управления. Это и устойчивость (А.М. Ляпунов), это и методы синтеза управлений (Л. Эйлер, Л.С. Понтрягин, Ф.Н. Красовский, Е.П. Попов), это и методы исследования систем (Б.Н. Петров, Е.П. Попов, В.М. Пономарев) и т. д.

Имя Евгения Павловича Попова как великого ученого, великого гражданина своей страны и великого человека во всех отношениях, несомненно, вписано золотыми буквами в историю отечественной и мировой науки.

#### Список используемых источников

1. *Попов Е.П.* Воспоминания. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. – 328 с.
2. Воспоминания о Евгении Павловиче Попове. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. – 92 с.

Aleshin E.N., Pavlov D.A. Flexible redistribution planning model of control operations between elements and subsystems of ACS SS // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaitsky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaitsky, 2014. – Release 642. – P. 7–9.

Set out the information flows redistribution planning model which can be used for process time redistributing between elements.

*Key words: optimization, planning, distributed processing, automated control systems.*

Belitskiy V.I., Sokolov S.M., Sherstuk A.V. Technique of a drop of a sample size of measurements of functions of the determined arguments at its polynomial approximation// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaitsky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaitsky, 2014. – Release 642. – P. 10–17.

In article the technique of control by sizes of statistical plans of experiments before their carrying out on the basis of connections of adequacy of models with parameters of plans and polynomial degree is developed.

*Key words: the experiment theory, statistical planning, a technique, a variance, a rating, a polynomial, adequacy.*

Kezhaev V.A. Theoretically applied adaptation aspects of method of dynamics of average in the context of firing modeling in perspective combat operations conditions // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaitsky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaitsky, 2014. – Release 642. – P. 18–22.

It is suggested method, enabled to expand firing tasks list in perspective combat operations conditions. It is analyzing opportunity of classical method of dynamics of average equations application. It is seemed variants of typical situations modeling, taking place in combat operations.

*Key words: firing, fire adjustment, fire damage to the enemy, method of dynamics of average, mathematical model of firing.*

Kochanov I.A., Kubusha A.V., Kirillov I.G. Problems arising at creation of control systems working in the conditions of constant reduction of time for the person, making the decision on management of organizational-technical systems // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaitsky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaitsky, 2014. – Release 642. – P. 23–26.

In article problems arising at creation of control systems working in the conditions of constant reduction of time for the person, making the decision on management of organizational-technical systems in space appointment are considered. Thus the problem of creation of a control system is shown to construction of hybrid heterogeneous structures of the models, allowing to model all its difficult processes providing acceptance of the operating decision and evolution of system. The basic problems of application of multimodelling methods are stated at the decision of a problem of creation and control system maintenance.

*Key words: systems of support of acceptance of operating decisions, real time, the much modelling environment, decision-making model.*

Luchko S.V., Petuhov A.B., Yadrenkin A.A. Noise stability of automatic systems // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaitsky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaitsky, 2014. – Release 642. – P. 27–31.

The assessment of influence of a high-pitched hindrance on dynamic qualities of system of automatic control is presented. The effect of vibration smoothing of the characteristic of a non-linear element is result of this action. This effect allows to investigate processes in non-linear system by means of methods of the theory of the linear systems. Positive and negative aspects of influence of hindrances in systems of automatic control of the missile and space equipment open.

*Key words: nonlinear system of automatic control, noise, vibration linearization of nonlinearity, noise stability, accuracy.*

Manuylov Y.S., Moskvina B.V., Pavlov D.A. Redistribution planning model of information processing between different elements of ACS SC // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 32–35.

Set out the redistribution planning model of information processing in channel «space-earth» with the results of calculations.

*Key words: optimization, planning, distributed processing, automated control systems.*

Mathematical models taking into account small electromagnetic forces of nature in the task of increasing the accuracy of the forecast traffic center Amaziah navigation spacecraft / A.I. Altukhov, V.I. Gorbunov, P.P. Rymkevich, D.L. Kargu, N.V. Radionov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 36–40.

In this article considers the hypothesis of nonmodelable accelerations center of mass of the spacecraft navigation arising from the interaction of current loops on-board power supply system and the inhomogeneous magnetic field of the Earth. A mathematical model of the interaction.

*Key words: inhomogeneous magnetic field gradient, the center of mass of the spacecraft, current loop nonmodelable acceleration.*

Concept of communication network formation with mobile subscribers based on multitude of satellites on miscellaneous height: the algorithm of expanding searching for mobile subscribers / K.Y. Tsvetkov, A.F. Akmolov, S.N. Efimov, E.A. Viktorov, A.S. Veremchuk // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 41–48.

It's considered organizations of hostless algorithm of expanding searching for multisatellite communication system based on satellite on miscellaneous height mobile subscribers, providing global and unceasing covering to terrestrial surface. It's shown that channel reception capacity expenses of multisatellite communication system based on satellite on miscellaneous height don't render significant impact to efficiency of the whole system reception capacity.

*Key words: lock station, mobile terminal, satellite-repeater, transmitting complex, taken out pool of single channel station, multisatellite communication system.*

The method of establishing operational primary psychological portrait / S.Y. Kapitsyn; M.A. Kramar; A.V. Lukovkin; N.V. Shestirubleva // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 49–52.

The article sets out an analysis of existing methods and the approach to the construction of the primary operative psychological portrait of the person on the basis of the automated processing of physiognomic features.

*Key words: psychological portrait physiognomic signs, speed.*

Karin S.A., Lobovko V.V. Constructing a streaming stegodetector to detect the hidden information in files with remote sensing data // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 53–57.

This article discusses the principles of streaming steganographic detector that can analyze large volumes of remote sensing data in streaming mode, and the results of his work. Use mathematical tools of mathematical statistics, neural networks and Markov chains.

*Key words: steganalysis, steganography, geospatial data, neural networks.*

Kuznetsov A.B., Shavin A.S. Error-correcting code selection method to pass information in the automated preparation and launch system // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 58–63.

Article deals with the problem of error-correcting code of choice for transmission of information in automated systems training and space rockets. The article presents a methodology for the selection of

error-correcting code, which takes into account the characteristics of the codes that affect the management of training and start-up. Technique is to quantify the characteristics of the codes formulating and solving the problem of multi optimal choice.

*Key words: automated preparation and launch system, the accuracy of the information transmission, efficiency of message transmission, error-correcting code.*

Basyrov A.G., Shinkarenko A.F., Sitalo E.A. Approach to estimate the importance of information-technical object // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 64–70.

The stated problem of estimating the importance of information-technical object. The considered method of the calculating of the factor to importance information-technical object for their ranking. Recommendations are made to identify important element of the network infrastructure.

*Key words: information-technical object, private index to importance, factor to value.*

Parshutkin A.V. Sirotin I.N., Konovalov A.V. Technique of the estimation of influence of inadvertent hindrances on radars of remote sounding of the earth of space basing // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 71–82.

In this article major principles of processing of signals tracing a radar in a space radar with the synthesised aperture of the remote sounding of the Earth, an order of an estimation of probability of detection of objects on a sea surface are informed at the set probability of the false alarm taking into consideration influence of casual hindrances.

*Key words: space vehicles of remote sounding of the Earth, radars with the synthesised aperture of the aerial, probability of detection of objects, inadvertent hindrances.*

Kalgin A.V., Shevchuk A.M. Methods of choosing assets of defeat objects and assets of active resistance to the effects of the enemy on the basis of the mathematical theory of games // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 83–89.

Out options foundations of mathematical methods to select weapons and means of active opposition parties defeat exposed assets of defeat in military conflict between X and Y. The initial data presented in the form of well-known matrix game theory. According to the proposed method on the example shown the tasks facing the military conflict handling weapons on objects and counter-defeat assets. Necessary guidelines for choosing the type of weapons and counter-defeat assets, providing the best solution to combat missions of the military conflict, X and Y.

*Key words: assets of destruction, assets of active resistance, strategy, counter-defeat assets, game matrix, military conflict, focal point.*

Kezhaev V.A., Goncharov E.A. Efficiency estimation of precision guided munitions information provision using entropy approach // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 90–92.

It is seemed actual tasks of efficiency estimation of precision guided munitions information provision. The most attention is given to using of modern information technologies in solving of arising problems. It is suggested new approaches to overcome collisions. Overcomming of this collisions define effective using of precision guided munitions.

*Key words: efficiency, precision guided munitions, entropy, amount of information, statistical theory of information, criterion, transmission link.*

Kezhaev V.A., Medvedsky S.N. Perspective implementation areas of decision-making support technology in automatically controlled hardware and software complexes // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 93–96.

It is seemed modern state of decision-making support systems development. Emphasis is appealed to analysis of perspective implementation areas of decision-making support technology in automatically controlled hardware and software complexes. It is suggested solutions of noting tasks.

*Key words: decisions, decision-making support systems, automatically controlled hardware and software complexes, parametric range, network graph, shortcut.*

Optimal image reconstruction for telescopic mode of the aerospace radiovision systems / S.A. Lepeshkin, V.S. Skirda, R.R. Haydarov, A.B. Umarov // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 97–101.

The method for optimal processing of random fields is devised conformably to the problems of image reconstruction for telescopic mode of the aerospace radiovision systems. General image reconstruction algorithms for telescopic mode of earth observation synthesized and the analysis of their performance is made.

*Key words: radiovision, optimal processing of random fields, reconstruction of radar images, telescopic mode.*

Osipov A.G., Efimov A.N. Methodology of integrated assessment of operational-tactical characteristics of the area in the systems of support of making decisions with use of geoinformation technologies // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P.102–109.

The methodology of integrated assessment of operational-tactical characteristics of areas including: formation of the conceptual information model for the production of evaluation, ranking of estimated indicators, assessment of operational-tactical properties within the territory under study and comprehensive assessment of their impact on the performance of tasks in management of military units and subdivisions.

*Key words: tactical property, the system of support of making decisions, conceptual information model of the subject area, optimization of information provision, wood properties, weights, analytical (factor) card, synthetic card.*

Chrusch R.M., Solovyev A.V. About some features of geoinformation support of modern military operations // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 110–114.

In article the essence the concept of network-centric military operations, problems of geoinformation support of Russian Armed Forces and a way of improvement of methods of expeditious creation of geospatial information is considered.

*Key words: topogeodezichesky, navigation and geoinformation support, network-centric operations.*

Dzitoev A.M., Lapovok E.V., Khankov S.I. Methods of analytical modeling of thermal modes of space objects in the circumterrestrial // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P.115–124.

The approach to the decision of problems of definition of non-stationary and stationary thermal modes of space objects on the basis of a method of analytical modeling of processes of their heat exchange and full power balance is stated. The method essence consists in the analytical description of non-stationary average temperatures of space object. Researches of the basic laws of formation of a non-stationary thermal mode of space object of the spherical form are conducted. The analytical formulas describing high-rise dependences of stationary temperatures of space objects with small thermal inertial in characteristic points in a shade of the Earth and on a site shined with the Sun of a trajectory are received. Are presented time schedule changes in time of temperatures of object at movement on elliptic trajectories with various values of heights of apogee. Principles of a choice of a kind of mathematical model depending on realized level of temperature of space object are proved.

*Key words: space object, thermal mode, non-stationary temperatures, high-rise relations of fixed temperatures of space object.*

Bescostyi D.F. Implementation of signal processing devices in distribution of radar complexes // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 125–131.

Solved the problem of synthesis of the signal processing algorithm in dispersed radar complex that uses as a source of radiation the review radar beforehand unknown or changing parameters of probing signal. Option of adaptive digital convolution, which takes into account a priori uncertainty of parameters of modulation signals.

*Key words: the spaced radar complex, the signal processing algorithm, the correlator, adaptive digital signal convolution.*

Katyucha R.V., Logunov S.V., Rogov D.A. Technique multiparameter state identification elements spacecraft, implemented through the application of fuzzy logic // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 132–135.

Provides a method for multi-parameter identification process state using fuzzy logic equations that are based on the matrix of knowledge and systems of logic statements. They allow us to calculate the values of the membership functions of various identification results for fixed values of telemetry parameters.

*Key words: fuzzy logic, identification, telemetry parameters, spacecraft.*

Katyucha R.V., Smirnov G.E., Bagretcov S.A. Application of the adapted technique of maintenance of the processor of input-output of the multiprocessor computer system // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 136–139.

Proposed a method based on the comparison matrices. Its essence lies in the fact that the methodology used by the results of multi-parameter spacecraft identification based on fuzzy logic and using well-developed apparatus of the theory of linear transformations and matrices, comprehensive assessment of the current state of the spacecraft by comparing the ideal and the real state of the spacecraft at different times for operational decisions and forecasting its functioning.

*Key words: comprehensive assessment, matrix, multiprocessor computing, monitoring, transforming, info shell.*

Manuilov Y.S., Aleshin E.N. The shaping of space solar thermal energy taking into account features of the angular motion of the object // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 140–148.

Discusses methodological apparatus, intended for solution of optimization tasks of the structural-parametrical synthesis of the basic subsystems of the space solar power plants. Presents a description of the mathematical software program-modeling complex, allowing to study the interaction of processes of functioning of system of positioning and control angular motion station, solar panels and active phased antenna arrays. The article substantiates the necessity and solutions to problems of dynamic and power compatibility system of control of the angular motion of the object and space solar power installations in establishing its image.

*Key words: space solar power station, the positioning system and management of angular motion, solar panel, solar concentrators.*

Pavlov D.A. Flexible redistribution planning model of control operations between elements and subsystems of ACS SC // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 149–152.

Set out the original universal information flows redistribution planning model on a mathematical level.

*Key words: planning, structural and functional reserve, reconfiguration.*

Skorohodov J.A., Kargin V.A., Deev V.V. Using CUDA technology in the design of rockets telemetry data online processing software // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 153–164.

In this paper, the authors propose to use CUDA technology in the telemetry data online processing software development. An algorithm for the distributed processing of telemetry data (sampling and estimation of telemetered parameters spectral properties on the characteristics of «excess») is presented. A comparative analysis of time resources indicators spent on calculations by sequential processing on the CPU and the organization of massive parallelism using graphics processors is performed. A number of recommendations for the integration of technology in telemetry data processing and analysis program complex are proposed.

*Key words: characteristics of the «excess», emissions trajectories of stochastic processes, general-purpose computing on graphics processing, CUDA technology.*

Starchukov D.S., Kozin P.A., Smirnov A.A. Quantitative analysis of porosity of high strong concretes with zole-additions // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 165–172.

The article is sanctified to the questions of quantitative analysis of porosity of высокопрочных heavy concretes, that allows to specify dependence between properties and structure of separate phases, and their mutual location in the volume of material. The modern methods of quantitative analysis of porosity of высокопрочных heavy concretes, and also method of computer analysis of porosity, are expounded in the article.

*Key words: quantitative analysis of porosity, high strong concretes, zole-additions.*

Isak V.Y. Competence approach in modern education // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 173–176.

The article is devoted to the theme of modern education, its continual improvement and enhancement of quality of knowledge using a competence approach. The author analyzes the specific feature of the proposed methodology and the dialectics of the terms «competence» and «competency».

Competence approach is offered as a model for national education, as an additional factor of support of United educational, professional and cultural-axiological space.

*Key words: education, educational paradigm, competence, competence approach, competence-based learning, competence and competency.*

Morozov A.V. Qualitative theory of differential equations as a basic component of dynamic systems theory // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 177–184.

This paper concerns a technique to be applied in the course of ordinary differential equations when stating problems of qualitative analysis of dynamic systems in *WINSET* bundled software. Model workshop versions are given. No doubt, the complex in question will be appreciated by experts, advanced students and doctoral candidates in the academy whose scientific interests are closely associated with analysis of dynamic processes.

*Key words: dynamic system, phase space, attractor, equilibrium position, limit cycle, stability, structural stability, bifurcation, separatrix, digital simulation of dynamic systems, dynamic chaos.*

System design professional training of graduates of higher military educational institutions on the basis of competence approach as a condition of improvement of quality of training of personnel / G.K. Osipov, I.Y. Voronkov, V.V. Hilenko, M.A. Golubev// Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 185–191.

The characteristics and provides a theoretical model of the competence approach to system design, professional training of graduates of higher military educational institutions. The main stages of its implementation.

*Key words: system design, competence approach, theoretical model, design technology training.*

Repyakh N.A., Hrustova A.N. Modern educational technology for implementation of competence approach in the preparation and training teaching staff // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 192–201.

The article is devoted to the process of implementation of additional professional education of modern educational technologies affecting the quality of training pedagogical workers. Presents modern learning technologies to facilitate the development of professional pedagogical skills of high school teacher.

*Key words: modern educational technologies, competence of teachers, semantic-context learning, problem-based learning, project-based learning, case studies, business and role play, discussion, brainstorming, training.*

Chepagin V.N. Minimization of overhead spending of teaching time in the inverse technology training // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 202–209.

In this article outlined the basic principles of the application of an inverse training technologies in order to minimize non-productive spending of training time, enhancing learning activities of students, forming the set of competencies and diagnosing their level of achievement.

*Key words: minimizing costs, activation, training activities, competence, diagnosis.*

Altukhov A.I., Golovina V.V., Kalinin V.N. Forming and criterions of competence estimation in subjects of mathematical and naturally scientific cycle // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 210–215.

General directions of the work of teachers' staff with the goal of competence forming during the process of study subjects of mathematical and naturally scientific cycles are stated. The role and place of these subjects in process of graduate formation are presented as a whole. Estimation criterions of formed competences and a formula are offered. This formula takes into account both the knowledge aspect and the abilities of the being trained to use attained knowledge for decision applied problems and allows to formalize the result of competence estimation.

*Key words: competence, the methods of competence forming, criterions of competence estimation.*

Popov A.V., Shukshin I.V., Stafeyev A.V. Teamwork of football players teams in military defender of Russian Federation by means of compatibility and the effectiveness of play interaction // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 216–220.

In the article adduce argument themselves with respect to the urgency of a study, the description of the procedures of the study of teamwork, components of play interaction and compatibility of the players of football commands is given. The nature of the interrelations between these three phenomena is here reflected. Since they all render influence on the individual result and success of the appearances of football commands. In the article it is reflected, which of the components of play interaction and compatibility are the factors of teamwork of football players. Furthermore, here are cited the data, which show the direction of influence with the presence of correlation interrelations.

*Key words: play interaction, compatibility, teamwork, the effectiveness of play interaction, the factors of teamwork.*

Prosenkov B.I. Some ways of geometric-graphic improvements of cadets preparation according to the FSES HPE // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 221–224.

This article analyses the attitude of graphic engineering teachers of technical universities to the question of the basic graphic preparation improvement changes of the courses contents according to the FSES HPE. It is shown that the main discussions are about the descriptive geometry existence a sub-

ject of education. Practical descriptive geometry tests with 3D computer modeling were carried out. Some recommendations of course are suggested.

*Key words: graphic preparations, descriptive geometry, graphic engineering.*

Prosenkov B.I., Vaskevich N.V., Plaks I.V. The Efficiency Rise of Geometric Graphic Subject of Cadets adaptation Basing the advanced Computer Technology // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 225–231.

The article shows that the use of 3D computer modeling in the study process is the magnificent result of the efficiency rise of graphic subject computer technology.

The expedience transition from traditional descriptive geometry task solution to the 3D modeling methods is well-founded.

*Key words: graphic preparations, descriptive geometry, graphic engineering.*

Stanislavichjus the River-B.B., Sazonov P. A. Maintenance of Russian army with optical devices in the First World War // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 232–235.

In article one of the most important problems, risen before the Main artillery management of Russian army with the First World War beginning, namely, absence of optical glass for manufacture of military optical devices is stated. The urgency of the given theme consists in revival and preservation of memory of Great war, about its heroes, about patriotism of all Russian people and its history.

*Key words: optical arms, Russian artillery, optical glass and its manufacture, panoramic sights, the military prismatic field-glass.*

100-th anniversary eugene P. Popov – founder and first head of the department of autonomous control systems of themilitary space academy named of A.F. Mozhaysky / A.A. Ardashov, V.N. Arsenyev, Y.V. Gorichev, S.B. Silantyev // Proceedings of the Military Space academy named after A.F. Mozhaisky. – SPb.: MSA named after A.F. Mozhaisky, 2014. – Release 642. – P. 236–243.

Article devoted anniversary of the outstanding person - winner of three State Prizes of the USSR member of the Russian Academy of Sciences, doctor of technical sciences professor general-major Yevgeny P. Popov. Shows the versatility of his personality as a scientist, teacher and organizer. The facts of his life's journey allow both young and pretty mature people identify landmarks in life, towards which brings glory to Russian science.

*Key words: academy, department, robotics, control.*

**Акмоллов Алексей Феликсович**, доцент 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-63, *e-mail: [akm78@mail.ru](mailto:akm78@mail.ru)*

**Алёшин Евгений Николаевич**, преподаватель 92-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 822-03-50, *e-mail: [aleshin\\_evgeny@inbox.ru](mailto:aleshin_evgeny@inbox.ru)*

**Алтухов Александр Иванович**, заведующий 112-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-08, *e-mail: [aai\\_51@mail.ru](mailto:aai_51@mail.ru)*

**Ардашов Август Анатольевич**, старший научный сотрудник отдела перспектив развития, применения и обоснования ТТТ к автономным системам управления ракетно-космической техники 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 (911) 217-44-96.

**Арсеньев Владимир Николаевич**, профессор кафедры бортовых информационных и измерительных комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 262-02-22.

**Багрецов Сергей Алексеевич**, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(911) 779-86-94.

**Басыров Александр Геннадьевич**, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8(911) 248-57-80, *e-mail: [alexanderbas@mail.ru](mailto:alexanderbas@mail.ru)*

**Белицкий Виктор Иванович**, старший научный сотрудник 222-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-73, *e-mail: [vikivbel@hotmail.com](mailto:vikivbel@hotmail.com)*

**Бескостый Дмитрий Федорович**, заместитель начальника кафедры тактики частей и подразделений РКО Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 748-43-52.

**Васкевич Нэлли Владимировна**, преподаватель 110-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-06, *e-mail: [nelly\\_1975@mail.ru](mailto:nelly_1975@mail.ru)*

**Веремчук Александр Сергеевич**, заместитель начальника факультета переподготовки и повышения квалификации Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-82, *e-mail: [werem696@mail.ru](mailto:werem696@mail.ru)*

**Викторов Евгений Александрович**, преподаватель 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-63, *e-mail: [9817988771@mail.ru](mailto:9817988771@mail.ru)*

**Воронков Иван Юрьевич**, заместитель начальника 7-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-97-15.

**Головина Виктория Владимировна**, преподаватель 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-08, *e-mail: victoria\_gol@mail.ru*

**Голубев Михаил Александрович**, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук.

**Гончаров Евгений Анатольевич**, старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13).

**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*

**Горичев Юрий Владимирович**, доцент кафедры автоматизированных систем подготовки и пуска ракет космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 308-38-80.

**Деев Владимир Викторович**, старший 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); доктор технических наук, профессор; тел.: 347-95-65.

**Дзитоев Азамат Миронович**, адъюнкт 15-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (981) 146-71-60.

**Ефимов Алексей Николаевич**, старший преподаватель 71-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13).

**Ефимов Сергей Николаевич**, заместитель начальника 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-63, *e-mail: nikolaichsn@mail.ru*

**Исак Вера Юрьевна**, преподаватель 113-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (921) 376-97-92, *e-mail: vera\_isak@mail.ru*

**Калгин Александр Владимирович**, доцент кафедры инженерного обеспечения и маскировки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-41.

**Калинин Владимир Николаевич**, профессор 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-08, *e-mail: kvn.112@mail.ru*

**Капицын Сергей Юрьевич**, заместитель начальника кафедры информационно-аналитической работы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (909) 577-77-95; *e-mail: wolf.76@bk.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*

**Карин Сергей Александрович**, заместитель начальника 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-95-51, *e-mail: Sergey.Karin@gmail.com*

**Катюха Роман Васильевич**, преподаватель кафедры средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(921) 360-83-58.

**Кежаев Валерий Алексеевич**, старший научный сотрудник 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*

**Кириллов Игорь Геннадьевич**, старший преподаватель кафедры организации повседневной деятельности и боевой подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-29.

**Козин Петр Александрович**, профессор кафедры специальных сооружений ракетно-космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-45, *e-mail: petrkozin@yandex.ru*

**Коновалов Александр Викторович**, преподаватель 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: kaxobka2004@mail.ru*

**Кочанов Игорь Анатольевич**, доцент кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-20.

**Крамар Максим Александрович**, командир отделения 695/2-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 277-45-97, *e-mail: maxim\_30\_04@mail.ru*

**Кубуша Александр Владимирович**, старший преподаватель кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии

имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-97-20.

**Кузнецов Александр Борисович**, начальник 26-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-26.

**Лаповок Евгений Владимирович**, старший научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (812) 347-97-16.

**Лепешкин Сергей Анатольевич**, заместитель начальника кафедры автоматизированных систем управления противоракетной обороны Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (981) 972-83-03, *e-mail: lepehkins@mail.ru*

**Лобовко Владимир Витальевич**, преподаватель 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-51, *e-mail: vmlob@mail.ru*

**Логунов Сергей Владимирович**, преподаватель кафедры средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(931) 305-53-72.

**Луковкин Александр Викторович**, курсант 695/2-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 686-70-18, *e-mail: Kerf1990kerf@gmail.ru*

**Лучко Сергей Викторович**, профессор 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-27.

**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 (911) 223-40-62, *e-mail: kotmanoff@rambler.ru*

**Медведский Сергей Николаевич**, заместитель начальника кафедры Военной академии Генерального штаба, соискатель кафедры автоматизированного управления Михайловской военной артиллерийской академии (г. Москва); кандидат военных наук, доцент.

**Морозов Алексей Валентинович**, доцент 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат физико-математических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-31, *e-mail: Alex.Morozof@gmail.com*

**Москвин Борис Владимирович**, профессор 92-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(921) 891-50-95, *e-mail: z-moskvin@mail.ru*

**Осипов Алексей Георгиевич**, преподаватель 72-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат географических наук; тел. 8 (812) 694-82-12, *e-mail: zoyaks@yandex.ru*

**Осипов Георгий Константинович**, доцент 72-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор географических наук, профессор; тел.: 8 (812) 694-82-12, *e-mail: Osipov-G-K-2005@yandex.ru*

**Павлов Дмитрий Александрович**, адъюнкт 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(981) 172-40-25, *e-mail: [dpavlov239@mail.ru](mailto:dpavlov239@mail.ru)*

**Паршуткин Андрей Викторович**, профессор 64-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-35.

**Петухов Андрей Борисович**, преподаватель 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 790-94-39.

**Плакс Ирина Владиславовна**, старший преподаватель 110-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-06, *e-mail: [i.Plaksik@mail.ru](mailto:i.Plaksik@mail.ru)*

**Попов Алексей Владимирович**, старший преподаватель кафедры физической подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(921) 989-80-52.

**Просенков Борис Иванович**, доцент 110-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-06, *e-mail: [Boriz89@yandex.ru](mailto:Boriz89@yandex.ru)*

**Радионов Николай Васильевич**, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор экономических наук; тел.: 8 (921) 774-09-16, *e-mail: [v\\_gorbulin@mail.ru](mailto:v_gorbulin@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](mailto:utkinodacha@yandex.ru)*

**Рогов Дмитрий Александрович**, начальник кафедры средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(911) 084-61-79.

**Рымкевич Павел Павлович**, доцент 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-87-54, *e-mail: [dmitrii\\_kargu@mail.ru](mailto:dmitrii_kargu@mail.ru)*

**Сазонов Павел Алексеевич**, начальник 73-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (950) 222-24-94, *[putechestvennik@gmail.com/maillsazonovpavel@.ru](mailto:putechestvennik@gmail.com/maillsazonovpavel@.ru)*

**Силантьев Сергей Борисович**, профессор кафедры автономных систем управления Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 951-16-32.

**Сиротин Илья Николаевич**, преподаватель 64-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-35.

**Ситало Елена Андреевна**, курсант Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 790-94-83, *e-mail*: [lenasit999@mail.ru](mailto:lenasit999@mail.ru)

**Скирда Валерий Сергеевич**, начальник лаборатории кафедры автоматизированных систем управления противоракетной обороны Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (952) 242-90-58, *e-mail*: [svs\\_2709@mail.ru](mailto:svs_2709@mail.ru)

**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.: 8 (960) 264-62-70, *e-mail*: [yaroslavskor@gmail.com](mailto:yaroslavskor@gmail.com)

**Смирнов Александр Александрович**, доцент кафедры специальных сооружений ракетно-космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-45, *e-mail*: [vs3580@yandex.ru](mailto:vs3580@yandex.ru)

**Смирнов Глеб Евгеньевич**, курсовой офицер 81-го курса Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(931) 305-53-72.

**Соколов Сергей Михайлович**, начальник 222-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-73, *e-mail*: [zeussm@yandex.ru](mailto:zeussm@yandex.ru)

**Соловьёв Алексей Владимирович**, адъюнкт кафедры фотограмметрии и фототопографии Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(911) 921-04-87, *e-mail*: [solov19882008@mail.ru](mailto:solov19882008@mail.ru)

**Станиславичюс Римас-Бронюс Броняус**, доцент 73-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 304-63-25, 996-23-27, *e-mail*: [@mail.ru](mailto:@mail.ru)

**Старчуков Дмитрий Сергеевич**, преподаватель кафедры специальных сооружений ракетно-космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-45, *e-mail*: [starchukov@mail.ru](mailto:starchukov@mail.ru)

**Стафеев Алексей Викторович**, доцент кафедры физической подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук; тел.: 8(905) 288-02-75, *e-mail*: [stafeich75@mail.ru](mailto:stafeich75@mail.ru)

**Умаров Александр Бахтиёрович**, курсант 925-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 213-21-23, [otlichnik95@mail.ru](mailto:otlichnik95@mail.ru)

**Хайдаров Руслан Рамилевич**, заместитель командира взвода 925-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 781-81-15, [ruslan-vavko@mail.ru](mailto:ruslan-vavko@mail.ru)

**Ханков Сергей Иванович**, ведущий научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: (812) 347-97-16.

**Хиленко Владислав Вячеславович**, начальник 72-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13).

**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](mailto:yugani@rambler.ru)

**Хрущ Роман Михайлович**, профессор кафедры фототопографии и фотограмметрии Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (198 255, Санкт-Петербург, Дачный пр., 8, кор. 3, кв. 149); кандидат технических наук, доцент; тел.: 758-27-42, *e-mail:* [Chrusch@rambler.ru](mailto:Chrusch@rambler.ru)

**Цветков Кирилл Юрьевич**, начальник 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-63, *e-mail:* [wavelet3@mail.ru](mailto:wavelet3@mail.ru)

**Чевагин Вадим Николаевич**, доцент 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 636-94-13, *e-mail:* [Chepik235@yandex.ru](mailto:Chepik235@yandex.ru)

**Шавин Александр Сергеевич**, адъюнкт 26-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-26, *e-mail:* [shavin88@mail.ru](mailto:shavin88@mail.ru)

**Шевчук Андрей Михайлович**, начальник кафедры инженерного обеспечения и маскировки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-41.

**Шерстюк Андрей Витальевич**, начальник 2-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-73, *e-mail:* [av47b@yandex.ru](mailto:av47b@yandex.ru)

**Шестирублёва Нина Владимировна**, командир группы 635/2-й учебной группы Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 279-89-81, *e-mail:* [nina\\_shestirubleva@mail.ru](mailto:nina_shestirubleva@mail.ru)

**Шинкаренко Антон Фёдорович**, 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](mailto:tonio87@rambler.ru)

**Шукшин Иван Владимирович**, старший преподаватель кафедры физической подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук; тел.: 8(921) 599-74-66.

**Ядрёнкин Андрей Александрович**, заместитель начальника 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 559-68-33.

**Аверкиев Николай Федорович**, профессор кафедры навигационного-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полета летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: (812) 347-96-16, *e-mail*: [averkievnf@yandex.ru](mailto:averkievnf@yandex.ru)

**Алексеев Виктор Федорович**, старший научный сотрудник 16-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8-911-217-03-39, *e-mail*: [vfalex\\_vti@mail.ru](mailto:vfalex_vti@mail.ru)

**Анисимов Владимир Георгиевич**, старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Арефьев Николай Викторович**, заведующий кафедрой водохозяйственного и гидротехнического строительства Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, Гидрокорпус-2, каб. №303); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 535-46-10. [arefiev@ice.spbstu.ru](mailto:arefiev@ice.spbstu.ru)

**Арсеньев Владимир Николаевич**, профессор кафедры бортовых информационных и измерительных комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-27, *e-mail*: [vladar56@mail.ru](mailto:vladar56@mail.ru)

**Багрецов Сергей Алексеевич**, младший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Белов Василий Иванович**, профессор кафедры профессионального образования ЛОИРО (197136, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., 25-А, литер А); доктор педагогических наук, профессор; тел.: 8 (812) 372-50-39.

**Бригаднов Игорь Альбертович**, профессор кафедры информационных систем и вычислительной техники Горного университета (199106, Россия, Санкт-Петербург, 22-я линия Васильевского острова, 2); доктор физико-математических наук, профессор; тел.: 8 (812) 349-35-79.

**Важенин Сергей Александрович**, профессор кафедры физической подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор педагогических наук, профессор.

**Вершловский Семён Григорьевич**, профессор кафедры педагогики и андрологии Санкт-Петербургской академии постдипломного образования (191001, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 11); доктор педагогических наук, профессор; тел.: 8 (812) 572-27-79.

**Волков Валерий Федорович**, профессор кафедры системного анализа и математического обеспечения автоматизированных систем управления (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (951) 652-32-63.

**Голик Александр Михайлович**, профессор кафедры средств контроля космического пространства Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Гончаревский Вилен Степанович**, профессор кафедры технологий и средств технического обеспечения и эксплуатации АСУ (войсками) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 355-19-20.

**Горбулин Владимир Иванович**, профессор кафедры бортового электрооборудования и энергетических систем летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197082, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-22, *e-mail: v\_gorbulin@mail.ru*

**Гурьев Игорь Сергеевич**, старший научный сотрудник отдела перспектив развития, применения и обоснования ТТТ к автономным системам управления ракетно-космической техники 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 (911) 238-21-01.

**Гусев Николай Николаевич**, старший преподаватель кафедры специальных сооружений ракетно-космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-45, *e-mail: gusev@rambler.ru*

**Девяткин Александр Михайлович**, начальник 6-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-91-60, *e-mail: lilaste@rambler.ru*

**Еремеев Михаил Алексеевич**, начальник кафедры систем сбора и обработки информации Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-87, *e-mail: mael@rambler.ru*

**Ефимов Николай Ефимович**, профессор кафедры управления ракетными ударами и огнем артиллерии в бою и операции Михайловской военной артиллерийской академии (Россия, Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 22); доктор технических наук, профессор.

**Зикратов Игорь Алексеевич**, заведующий кафедрой безопасности информационных технологий НИУ ИТМО; доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (931) 306-01-95.

**Козлов Владимир Владимирович**, профессор 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Козырев Геннадий Иванович**, профессор кафедры телеметрических систем и комплексной обработки информации Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-94-78.

**Косырев Сергей Викторович**, профессор кафедры радиационной, химической и биологической защиты Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 347-96-93.

**Кунтурова Надежда Борисовна**, профессор кафедры математики Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-31, *e-mail: knb26@yandex.ru*

**Лихачёв Владимир Михайлович**, заведующий 111-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-07.

**Мануйлов Юрий Сергеевич**, профессор кафедры автоматизированных систем управления космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 347-95-65.

**Минаков Евгений Петрович**, профессор кафедры управления организационно-техническими системами космического назначения Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-99-02.

**Миронов Андрей Николаевич**, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8-911-275-08-00, *e-mail: vka.13@yandex.ru*

**Огородников Владимир Петрович**, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор философских наук, профессор; тел.: 8 (951) 668-24-86, *e-mail: ogorod@mail.ru*

**Осипов Георгий Константинович**, доцент 72-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор географических наук, профессор; тел.: 8 (812) 694-82-12, *e-mail: Osipov-G-K-2005@yandex.ru*

**Пирогов Сергей Юрьевич**, старший преподаватель кафедры конструкции ракет-носителей и ракетных двигателей Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 516-47-48, *e-mail: kafedral7@rambler.ru*

**Пророк Валерий Ярославович**, профессор кафедры автоматизированных систем управления противоракетной обороны Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 161-00-95, *e-mail: val\_prorok@mail.ru*

**Радионов Николай Васильевич**, профессор кафедры бортового электрооборудования и энергетических систем летательных аппаратов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор экономических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-22.

**Разумов Александр Владимирович**, старший научный сотрудник 511-й лаборатории 51-го отдела Военного института (военно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Садин Дмитрий Викторович**, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-25, *e-mail: dsadin100@mail.ru*

**Сазонов Константин Викторович**, начальник 54-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-54.

**Сеньченков Валентин Иванович**, профессор кафедры систем жизнеобеспечения объектов наземной космической инфраструктуры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-43, *e-mail: svi9@rambler.ru*

**Смагин Владимир Александрович**, профессор 75-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-61.

**Староселец Всеволод Георгиевич**, профессор кафедры автоматизированного управления Михайловской военной артиллерийской академии (Россия, Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 22); доктор технических наук, профессор.

**Шаталов Александр Андреевич**, доцент кафедры средств противоракетной обороны Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор.

**Шишов Юрий Аркадьевич**, старший научный сотрудник 55-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 719-49-18.

**Щёголев Валерий Александрович**, профессор кафедры физической подготовки Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук, профессор.

**Яснова Нина Семёновна**, заведующая 113-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук, доцент; тел.: 8 (952) 225-42-76, *e-mail: kiya113@mail.ru*